

525,431

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

24 FEB 2005

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004年3月4日 (04.03.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/018159 A1

(51) 国際特許分類: B25J 5/00, 13/08, G05D 1/02

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/010651

(22) 国際出願日: 2003年8月22日 (22.08.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2002-245614 2002年8月26日 (26.08.2002) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): グットマンステフェン (GUTMANN,Steffen) [DE/JP]; 〒141-0001 東京

都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 福地 正樹 (FUKUCHI,Masaki) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 小池 晃, 外(KOIKE,Akira et al.); 〒100-0011 東京都千代田区 内幸町一丁目1番7号 大和生命ビル 11階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(国内): US.

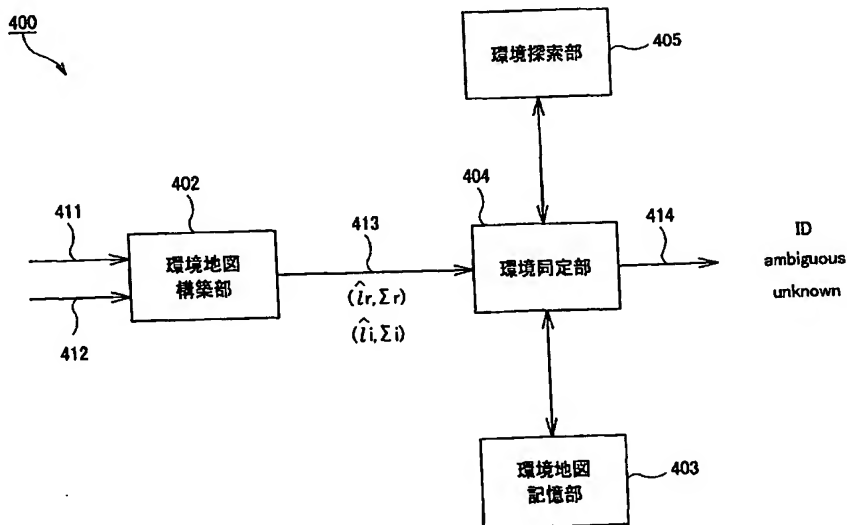
(84) 指定国(広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: ENVIRONMENT IDENTIFICATION DEVICE, ENVIRONMENT IDENTIFICATION METHOD, AND ROBOT DEVICE

(54) 発明の名称: 環境同定装置及び環境同定方法、並びにロボット装置



405...ENVIRONMENT SEARCH SECTION
402...ENVIRONMENT MAP BUILDING SECTION
404...ENVIRONMENT IDENTIFICATION SECTION
403...ENVIRONMENT MAP STORAGE SECTION

(57) Abstract: An environment identification device (400) is mounted on a robot device moving within an environment which can be uniquely identified and has a plurality of landmarks and identifying the current environment from a plurality of registered environments. The environment identification device includes an environment map building section (402) for recognizing a landmark in the current environment, calculating the moving state amount of the robot device itself, and building a current

[続葉有]

WO 2004/018159 A1



environment map having the position information on the landmark in the current environment according to the landmark and the moving state amount, an environment map storage section (403) having a database of a registered environment map consisting of the landmark position information and the environment ID, an environment identification device (404) for identifying the current environment according to the similarity between the registered environment map and the current environment map, and an environment search section (405) for searching a new environment.

(57) 要約: 環境同定装置(400)は、ランドマークが複数配置され、一意に特定可能な環境内を移動するロボット装置が複数の登録済の環境から現在の環境を同定するものであり、現在の環境内のランドマークを認識し、ロボット装置自身の移動状態量を算出し、このランドマーク及び移動状態量に基づいて現在の環境におけるランドマークの位置情報を有する現在の環境地図を構築する環境地図構築部(402)と、ランドマークの位置情報及び環境IDからなる登録済環境地図のデータベースを有する環境地図記憶部(403)と、登録済環境地図と現在の環境地図との類似度から現在の環境を同定する環境同定装置(404)と、新しい環境を探索する環境探索部(405)とから構成される。

明細書

環境同定装置及び環境同定方法、並びにロボット装置

技術分野

本発明は、移動体が現在移動している環境を同定する環境同定装置、環境同定方法、プログラム及び記録媒体、並びに環境同定装置を搭載したロボット装置に関する。

本出願は、日本国において2002年8月26日に出願された日本特許出願番号2002-245614を基礎として優先権を主張するものであり、この出願は参照することにより、本出願に援用される。

背景技術

電氣的又は磁氣的な作用を用いて人間（生物）の動作に似た運動を行う機械装置を「ロボット」という。我が国においてロボットが普及し始めたのは、1960年代末からであるが、その多くは、工場における生産作業の自動化・無人化等を目的としたマニピュレータ及び搬送ロボット等の産業用ロボット（Industrial Robot）であった。

最近では、人間のパートナーとして生活を支援する、即ち住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動を支援する実用ロボットの開発が進められている。このような実用ロボットは、産業用ロボットとは異なり、人間の生活環境の様々な局面において、個々に個性の相違した人間、又は様々な環境への適応方法を自ら学習する能力を備えている。例えば、犬又は猫のように4足歩行の動物の身体メカニズム及びその動作を模した「ペット型」ロボット、或いは、2足直立歩行を行う人間等の身体メカニズム及びその動作をモデルにしてデザインされた「人間型」又は「人間形」ロボット（Humanoid Robot）等のロボット装置は、既に実用化されつつある。

これらのロボット装置は、産業用ロボットと比較して、例えばエンターテインメント性を重視した様々な動作等を行うことができるため、エンターテインメントロボットと呼称される場合もある。また、そのようなロボット装置には、外部からの情報及び内部の状態に応じて自律的に動作するものがある。

ところで、自律型ロボット装置において、自身の周りの環境を認識して経路計画を立て、それに応じて移動する能力は言うまでもなく重要である。従来、移動ロボット装置においては、自身が移動する環境を認識するため、その環境全体の地図を保持したり、また、ロボット装置の微少移動又は姿勢の変更に際して環境地図が更新されている。

従来、このような環境地図を保持する移動ロボット装置のナビゲーションシステムが米国特許第536,3305号明細書 (Navigation system for a mobile robot) に開示されている (以下、従来例という。)。この技術によれば、ロボット装置は、ランドマークが配置された環境の地図を記憶し、環境が変わったとき等に、記憶した環境地図と、現在の環境の観測結果とを比較し、ランドマークが一致した数によりその信頼性を評価する。記憶された環境地図に存在しないランドマークを観測した場合は、その情報を追加して環境地図を更新する。

しかしながら、従来例に記載の技術は、ある1つの環境を想定し、その一つの環境地図を如何に構築するかに関し、ある1つの環境内のナビゲーション、又は自己位置同定を行うものである。即ち、例えば工場の搬送ロボットや、美術館内の案内ロボットといった限られた環境内での移動を前提としているロボットに有用であるものの、エンターテインメント用のロボット装置としては以下に示す問題点がある。即ち、エンターテインメント用のロボット装置は、その活動の場が家庭環境等であるため、途中で電源が切られる、及び持ち上げられて違う部屋に持っていかれる等、自己位置同定にとって困難な状況が日常的に多々発生する。

例えば、東京のあるユーザの家の1階にある部屋A、その2階にある部屋B、及び大阪にある親戚の家の部屋Cがあるとする。ロボット装置は、普段の日中は部屋Aで活動しているが、夜間は部屋Bに運ばれ、更に、夏休みは大阪の部屋Cに運ばれ、その部屋で活動するものとする。ロボット装置自身が能動的にこれらの部屋A～Cの間を移動することは不可能であるため、例えば電源を切られた状

態で搬送される。このような状況で、ロボット装置がこれらの部屋A～Cの間の物理的関係を獲得することは不可能である。

即ち、従来例の方法では、別の部屋に搬送される等して物理的に離れた環境に移動させられた場合、そのままでは自己位置同定を行うことができず、従って、何らかの方法で明示的に環境が変化したことを指定する必要がある。

また、もし仮に全ての部屋の間の物理的関係を獲得することが可能で、全てを一つの環境地図で表現できたとすると、常に極めて多くの情報を一度に扱わなくてはいけなくなり、リソースの限られたロボット装置等には不向きであり、計算量の観点から問題が発生してしまう。

発明の開示

本発明は、このような従来の実情に鑑みて提案されたものであり、ロボット装置等の移動体における限られた計算リソース及びメモリリソースを考慮し、素早く現在の環境を同定することができ、各々の環境での自己位置同定を行うことができる環境同定装置、環境同定方法、プログラム及び記録媒体、並びに環境同定装置を搭載したロボット装置を提供することを目的とする。

上述した目的を達成するために、本発明に係る環境同定装置は、1以上のランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する環境同定装置であって、上記1以上のランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、1以上のランドマークの配置又は数により一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築手段と、上記環境地図が登録済環境地図として複数記憶された環境地図記憶手段と、上記環境地図記憶手段に記憶されている上記登録済環境地図と、上記環境地図構築手段により構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定手段とを有することを特徴とする。

また、本発明に係る環境同定方法は、1以上のランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する環境同定方法であって、上記1以上のランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、1以上のラン

ドマークの配置又は数により一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築工程と、記憶手段に登録済環境地図として複数記憶された上記環境地図と、上記環境地図構築工程にて構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定工程とを有することを特徴とする。

また、本発明に係るプログラムは、上述した環境同定処理をコンピュータに実行させるものであり、本発明に係る記録媒体は、そのようなプログラムが記録されたコンピュータ読み取り可能なものである。

本発明においては、現在の環境における環境地図を構築する場合、1以上のランドマークの配置又は数により一意に特定可能な環境毎の環境地図を構築し、この構築した環境地図を、登録済環境地図と比較して同定する同定手段を有するため、ロボット装置が物理的に離れた複数の環境（例えば、物理的に距離が離れた場所にある部屋Aと部屋B）を素早く識別することができ、環境全てを大きな環境地図によって保持する手法に比べて、計算負荷が少なく、更に異なる環境間の相対的な位置関係を関知する必要がない。また、全てのランドマークを認識しなくても、ある程度の情報から現在の環境を同定することができる。このように、各環境毎に一つの環境地図を構築し、記憶手段に登録された環境地図群との比較をダイナミックに行うことにより、素早く現在の環境を同定することができ、各々の環境での自己位置同定を行うことができる。

本発明に係るロボット装置は、1以上のランドマークが配置された環境内を移動するロボット装置であって、上記1以上のランドマークの観測結果及び上記ロボット装置の移動状態量に基づき、1以上のランドマークの配置又は数により一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築手段と、上記環境地図が登録済環境地図として複数記憶された環境地図記憶手段と、上記環境地図記憶手段に記憶されている上記登録済環境地図と、上記環境地図構築手段により構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定手段とを有することを特徴とする。

本発明においては、ランドマークにより一意に特定可能である範囲を1つの環境とし、この環境を示す環境地図を記憶し、現在の環境と比較して同定すること

により、一つ一つのデータ量が小さくてよく、ロボット装置における限られた計算リソース及びメモリリソースを考慮しつつ、現在移動している環境を迅速且つ効率よく同定することができる。

本発明の更に他の目的、本発明によって得られる具体的な利点は、以下に説明される実施例の説明から一層明らかにされるであろう。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の実施の形態におけるロボット装置の外観構成を示す図であって、ヒューマノイド型の 2 足歩行のロボット装置を示す斜視図である。

図 2 は、本発明の実施の形態におけるロボット装置の外観構成を示す図であって、4 足歩行の動物型ロボット装置を示す斜視図である。

図 3 は、本発明の実施の形態に係るロボット装置の概略を示すブロック図である。

図 4 は、本発明の実施の形態に係るロボット装置を動作するソフトウェアの構成を示す模式図である。

図 5 は、本発明の実施の形態に係る環境同定システムを示すブロック図である。

図 6 は、本発明の実施の形態に係る環境同定システムで管理される環境地図の一例を示す模式図である。

図 7 A は、ロボット装置が環境内を探索している様子を示す模式図であり、図 7 B は、本実施の形態におけるランドマークを示す模式図である。

図 8 は、ランドマークの一例を示す模式図である。

図 9 は、本発明の実施の形態に係る環境同定装置の環境同定方法を示すフローチャートである。

図 10 は、ランドマークが配置された環境を示す模式図である。

図 11 は、ロボット装置が自身の動きを考慮せずに構築した環境地図を示す模式図である。

図 12 は、ロボット装置が自身の動きを考慮して構築した環境地図を示す模式図である。

図 1 3 は、拡張カルマンフィルタモデルの模式図である。

図 1 4 A 及び図 1 4 B は、夫々ロボット装置が自身の動作を観測した場合及びランドマークを観測した場合の環境地図を構築する方法を示すフローチャートである。

図 1 5 は、ロボット装置が環境内を歩き回ってランドマークの位置を観測して構築した環境地図の一例を示す図である。

図 1 6 は、同じく、ロボット装置が環境内を歩き回ってランドマークの位置を観測して構築した環境地図の一例を示す図である。

図 1 7 は、本発明の実施の形態における環境同定部の環境同定方法を示すフローチャートである。

図 1 8 は、本発明の実施の形態における環境記憶装置に記憶される環境 ID を説明する図である。

図 1 9 は、環境内のランドマークの探索を終了する方法を説明するための模式図である。

図 2 0 は、本発明の実施の形態におけるロボット装置のソフトウェアの動作を示すフローチャートである。

図 2 1 は、同ソフトウェアに入力されるデータの流れを示す模式図である。

図 2 2 は、本発明の実施の形態におけるロボット装置の自由度構成モデルを模式的に示す図である。

図 2 3 は、同ロボット装置の回路構成を示すブロック図である。

図 2 4 は、同ロボット装置のソフトウェア構成を示すブロック図である。

図 2 5 は、同ロボット装置のソフトウェア構成におけるミドル・ウェア・レイヤの構成を示すブロック図である。

図 2 6 は、同ロボット装置のソフトウェア構成におけるアプリケーション・レイヤの構成を示すブロック図である。

図 2 7 は、アプリケーション・レイヤの行動モデルライブラリの構成を示すブロック図である。

図 2 8 は、同ロボット装置の行動決定のための情報となる有限確率オートマトンを説明する図である。

図 29 は、有限確率オートマトンの各ノードに用意された状態遷移表を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

1. ロボット装置の概要

以下、本発明を適用した具体的な実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。この実施の形態は、本発明を、ランドマークが複数配置され一意に特定可能な環境内を移動するロボット装置が複数の登録済の環境から現在の環境を同定する環境同定装置及びこれを搭載したロボット装置に適用したものである。

このような環境同定装置を搭載するロボット装置としては、エンターテインメント用等の例えばヒューマノイド型の 2 足歩行のロボット装置、及び、4 足歩行の動物型ロボット装置等を使用することができる。例えば、2 足歩行のロボット装置としては、図 1 に示すように、ロボット装置 1 の体幹部ユニット 2 の所定の位置に頭部ユニット 3 が連結されると共に、左右 2 つの腕部ユニット 4 R/L と、左右 2 つの脚部ユニット 5 R/L が連結されて構成されるものがある（但し、R 及び L の各々は、右及び左の各々を示す接尾辞である。以下において同じ。）。また、4 足歩行の動物型ロボット装置としては、「犬」を模した形状のいわゆるペットロボットとされる図 2 に示すようなものがある。このロボット装置 11 は、胴体部ユニット 12 の前後左右にそれぞれ脚部ユニット 13 A, 13 B, 13 C, 13 D が連結されると共に、胴体部ユニット 12 の前端部及び後端部にそれぞれ頭部ユニット 14 及び尻尾部ユニット 15 が連結されて構成されている。

これらのロボット装置 1, 11 は、何れも頭部ユニットに CCD (charge coupled device) / CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) 撮像素子を用いた小型カメラを視覚センサとして有しており、画像処理によりランドマークを検出し、ロボット装置に対する相対的なランドマークの位置を獲得することができる。本実施の形態では、これをランドマークセンサとして使用する。以下、本実施の形態においては、本発明を、ヒューマノイド型の 2 足歩行のロボッ

ト装置 1 に適用した例について説明する。

図 3 は、本発明の実施の形態に係るロボット装置の概略を示すブロック図である。図 3 に示すように、ロボット装置 1 の頭部ユニット 3 には、右目及び左目にそれぞれ相当する 2 台の CCD カメラ 200R, 200L が設けられ、この CCD カメラ 200R, 200L の後段には、ステレオ画像処理部 210 が設けられている。2 台の CCD カメラ 200R, 200L により撮像された右目画像 201R、左目画像 201L は、ステレオ画像処理部 210 に入力される。ステレオ画像処理部 210 は、各画像 201R, 201L の視差情報 (disparity data) (距離情報) を計算し、カラー画像 (YUV: 輝度 Y、色差 UV) 202 及び視差画像 (YDR: 輝度 Y、視差 D、信頼度 R) 203 をフレーム毎に左右交互に算出する。ここで、視差とは、空間中のある点が左目及び右目に写像される点の違いを示し、そのカメラからの距離に応じて変化するものである。

このカラー画像 202 及び視差画像 203 はロボット装置 1 の体幹部ユニット 2 に内蔵された CPU (制御部) 220 に入力される。また、ロボット装置 1 の各関節にはアクチュエータ 230 が設けられており、CPU 220 からの指令となる制御信号 231 が供給されて、その指令値に応じてモータを駆動する。各関節 (アクチュエータ) には、ポテンシオメータが取り付けられ、その時のモータの回転角が CPU 220 に送られる。このアクチュエータ 230 に取り付けられたポテンシオメータ、足底に取り付けられたタッチセンサ及び体幹部に取り付けられたジャイロ・センサ等の各センサ 240 は、現在の関節角度、設置情報、及び姿勢情報等の現在のロボット装置 1 の状態を計測し、センサデータ 241 として CPU 220 へ供給される。CPU 220 は、ステレオ画像処理部 210 からのカラー画像 202 及び視差画像 203 と、アクチュエータ 230 の全ての関節角度等のセンサデータ 241 とが入力され、これらのデータが後述するソフトウェアにより処理され、様々な動作を自律的に行うことが可能となる。

図 4 は、本実施の形態におけるロボット装置 1 を動作させるソフトウェアの構成を示す模式図である。本実施の形態におけるソフトウェアは、オブジェクト単位で構成され、ロボット装置 1 の位置、移動量、周囲の障害物、及び環境地図等を認識し、ロボット装置 1 が最終的に取るべき行動についての行動列を出力する

各種認識処理等を行うものである。なお、ロボット装置1の位置を示す座標として、例えば、後述するランドマーク等の特定の物体等に基づく所定位置を座標の原点としたワールド座標系（以下、絶対座標ともいう。）と、ロボット装置1自身を中心（座標の原点）としたロボット中心座標系（以下、相対座標ともいう。）との2つの座標を使用する。

オブジェクト同士は、非同期に通信し合うことで、システム全体が動作する。各オブジェクトはメッセージ通信と共有メモリを使用したオブジェクト間通信方法によりデータの受け渡し及びプログラムの起動（Invoke）を行っている。図4に示すように、本実施の形態におけるロボット装置1のソフトウェア300は、ロボット装置1の移動量を算出する移動量算出手段（キネマティックオドメトリ（Kinematics Odometry））KINE310、環境内の平面を抽出する平面抽出部（Plane Extractor）PLEX320、環境内の障害物を認識する障害物グリッド算出部（Occupancy Grid）OG330、人工的なランドマークを含む環境において、自身のセンサ情報及び移動量算出手段から供給される自身の動作情報によって、ロボット装置1の自己位置（位置及び姿勢）を同定するランドマークセンサ部（Landmark Sensor）CLS340、ロボット中心座標を絶対座標に変換する絶対座標算出部（Localization）LZ350及びロボット装置の取るべき行動を決定する行動決定部（Situating behavior Layer）SBL360から構成され、各オブジェクト単位にて処理がなされる。

ここで、ロボット装置1が自律的に動作するためには、ロボット装置1が現在おかれている環境を認識する必要がある。本実施の形態においては、先ず、ロボット装置1が自律的に動作するための各処理のうち、ロボット装置1が現在移動している環境を同定するための環境同定装置について説明する。ロボット装置1を自律的に動作させる上記ソフトウェアについての詳細な説明、並びにロボット装置1の構成及び動作に関する詳細な説明は後述する。

2. 環境同定装置

本実施の形態の環境同定装置は、環境内に設置されたランドマークを認識するランドマークセンサを装備したロボット装置1（移動体）において、ランドマークの観測に基づき環境地図を構築し、この環境地図を既知の複数の環境地図（登

録済環境地図)と比較することによって、ロボット装置1が現在置かれている環境を同定するものである。既知の環境地図は、ユーザ等により作成されたものであっても、ロボット装置1によって学習されたものであってもよい。環境地図は個々のランドマークの位置(x, y)を有しており、環境地図の比較は、現在観測している環境地図のランドマークの位置を既知の環境地図におけるランドマークの位置と比較し、両者の類似性を評価することにより行われる。

環境内には、形状・色等が異なる複数種の人工的なランドマークを配置し、ロボット装置1はこの環境の中を動き回りながらランドマークを観測し、自分自身の移動量からランドマークの位置を推定する。観測したランドマークの位置情報と、ロボット装置1自身の移動量から、環境内のランドマークの相対的な位置関係を推定していく。本実施の形態においては、このランドマークの位置関係を環境地図という。仮に、全く同じ配置のランドマークを有する環境が2つ以上存在しないと仮定すると、このランドマークの位置関係によって、その環境を一意に特定することができる。一意に特定可能な環境として、具体的には、形状及び／又は色等により環境内では一意に特定可能な人工的なランドマークを複数配置することにより、一意に特定可能な環境を作成することができる。ロボット装置1は、獲得したランドマークの位置関係、即ち環境地図と、環境同定装置の環境地図記憶部に記憶されている過去の環境地図情報群とを比較することによって、ロボット装置1が現在置かれている環境を同定することができる。以下、本実施の形態の環境同定装置について具体的に説明する。

図5は、本発明の実施の形態に係る環境同定装置を示すブロック図である。図5に示すように、本実施の形態の環境同定装置400は、現在の環境内のランドマークの観測結果及びロボット装置1自身の移動状態量が供給され、このランドマーク及び移動状態量に基づいて、ロボット装置1が現在おかれている環境のランドマーク情報を有する環境地図を構築する環境地図構築部(環境地図構築手段)(Map Building)402と、環境内のランドマークの位置情報とその環境に一意に割り振られる環境IDを一つの組として、複数の環境地図(登録済環境地図)及びその環境IDからなるデータベースを有する環境地図記憶部(環境地図記憶手段)(Database of Environment)403と、環境地図構築部402によ

って構築される現在ロボット装置１が置かれている環境の環境地図と、環境地図記憶部４０３に記憶された既知の環境地図との類似度を比較することによって、ロボット装置１が現在置かれている環境を特定する環境同定部（環境同定手段）（Environment Identification）４０４と、新しい環境を認識するためにロボット装置１を歩き回らせる環境探索部（環境探索手段）（Exploration/Robot Control）４０５とから構成される。

上述したように、図３に示すＣＣＤカメラ２００Ｌ，２００Ｒによって取り込まれた映像は、ステレオ画像処理部２１０に入力され、左右画像２０１Ｒ，２０１Ｌの視差情報（距離情報）からカラー画像（ＹＵＶ）２０２及び視差画像（ＹＤＲ）２０３が算出されてＣＰＵ２２０に入力される。また、ロボット装置１に複数個設けられた各センサからのセンサデータ２４１が入力される。これらの視差情報及び視差画像からなる画像データ３０１と、センサデータ３０２とが移動量算出手段ＫＩＮＥに入力される。

移動量算出手段ＫＩＮＥは、画像データ３０１及びセンサデータ３０２からなる入力データに基づいてロボット中心座標系の移動量（オドメトリ）を算出する。また、ロボット装置１は、自身の姿勢方向を検出し、移動量と共に姿勢方向を示す情報が環境地図構築部４０２に供給される。また、環境内に配置されたＣＣＤカメラ２００Ｌ，２００Ｒによって観測されたランドマークのカラー画像（ＹＵＶ）２０２及び視差画像（ＹＤＲ）２０３が入力されランドマークを認識するランドマーク認識手段（図示せず）から、ランドマークの観測結果（以下、ランドマーク情報という。）４１１が供給される。環境地図構築部４０２は、このランドマーク情報４１１及びロボット装置１の移動量及び姿勢方向を示す情報（以下、移動状態量という。）４１２からなる入力情報からロボット装置１が現在置かれている環境地図４１３を構築し、環境同定部４０４に供給する。

環境同定部４０４は、ロボット装置１が現在置かれている環境、即ち、環境地図構築部４０２から供給された環境地図４１３と、環境地図記憶部４０３に記憶されている複数の既知の環境地図（登録済環境地図）とを比較することによって、ロボット装置１が現在置かれている環境を特定する。この既知の環境地図は、上述したように、ユーザ等により作成されたものであっても、環境地図構築部４０

2により構築されたものであってもよい。ロボット装置1が置かれている現在の環境が、環境地図記憶部403に記憶されている登録済の環境地図に一致した場合は、この登録済の環境地図に対応して記憶されている環境ID（環境識別情報）414を出力する。環境地図記憶部403に記憶されている複数の登録済環境地図と一致した場合は、現在の環境が同定できなかったものとして、不明確（曖昧）であることを示す（ambiguous）信号を出力する。また、環境地図記憶部403に記憶されている登録済の環境地図と一致するものがなかった場合にも現在の環境が同定できなかったものとして、現在の環境が不明であることを示す（unknown）信号を出力する。

環境地図記憶部403は、環境内のランドマークの位置情報、及び環境に一意に割り振られる環境IDが記憶された環境地図データベース（図示せず）を有する。また、環境探索部405は、新しい環境を認識するために、例えば外部からのリモートコントロール等によりロボット装置1に環境内を歩き回らせ、環境内のランドマークを認識させるものである。

環境地図記憶部403の環境地図データベースには、環境内のランドマークを識別するランドマーク識別情報及び位置情報、並びにこの環境に対応して割り当てられた環境IDが予め入力されていてもよく、又は環境探索部405により、ロボット装置1自身が環境地図データベースを作成するようにしてもよい。

環境内には、上述したように、形状及び色の違いにより複数種のランドマークを配置し、ロボット装置1は、自身に備えられたC.C.Dカメラ200R、200L等のランドマークセンサにより、ランドマークの色及び形を検出・認識することによって、環境地図の構築、及び環境同定を行うことができる。例えば、決められた個数のランドマークが配置された環境を1つの環境として環境IDを割り付けて管理することで、環境データベースの管理が容易になる。

例えば図6に示すように、1つの家にリビング415、寝室416、台所417及び遊び部屋418の4部屋があった場合、ロボット装置1は、家全体を1つの環境地図で管理するのではなく、各部屋415～418を1つの環境として環境IDを割り付け、4つの環境地図で管理する。なお、各部屋415～418には予め決められた個数のランドマークが配置されており、そのランドマークの配

置又は数により、一意に特定可能であるものとする。

このように、周囲の環境を1つの環境地図で管理するのではなく、一意に特定可能な範囲で分割された複数の環境地図として記憶することにより、1つ1つのデータが小さくなり、データの更新、追加等における計算量を低減することができる。本実施の形態における一意に特定可能な環境は、複数のランドマークを配置し、その配置の仕方等によって一意に特定することができるものである。このとき、ランドマークが1つの環境内にて一意に特定可能であると、環境の同定が容易となる。

図7Aは、ロボット装置1が1つの環境内（例えば図6のリビング415内）を探索している様子を示す模式図、図7Bは、本実施の形態におけるランドマークを示す模式図である。図7Aに示すように、例えば、環境420内の机、柱、又は壁等のランドマーク貼り付け（配置）可能な対象物422a～422eに、人工的な複数種のランドマークLが複数配置され、ロボット装置1は、この環境420の中を歩き回り、CCDカメラ200R、200L等により獲得したランドマークLの観測と、ロボット装置1自身の位置（ x, y, θ ）とから、ロボット装置1自身が現在置かれている環境のランドマークLの位置関係を獲得していく。ここで、ロボット装置位置（ x, y, θ ）は、所定の位置を基準（原点）とした座標系におけるロボット装置1の位置（ x, y ）と、所定の方角Dを基準（ 0° ）としてロボット装置1の姿勢方向の角度（ θ ）とで表現することができる。ロボット装置1は、自身のCCDカメラ200R、200L及びセンサ240等から上述した移動量算出手段により、自身の移動量（ dx, dy ）及び移動角（ $d\theta$ ）を算出することにより、自身の位置（ x, y, θ ）を把握することができる。

ランドマークLは、図7Bに示すように、例えば、四角形、円形及び三角形の幾何学パターン431～433が所定の配置位置となるよう組み合わせられたもので、その配色により、互いに識別可能なものを使用することができる。環境420内には、このような複数種の人工的なランドマークが複数配置され、これにより、環境420が一意に特定可能なものとなっている。ロボット装置1が環境420を同定する際は、自身の移動状態量からロボット装置1自身が現在置かれて

いる環境のランドマークの位置関係を獲得し、このランドマークLの種類及びその位置関係を、環境地図記憶部403に記憶されている過去（登録済）の環境地図におけるランドマークLの種類及びその位置と比較することにより、現在の環境が既に登録済の環境であるか否かを判断する。

また、現在の環境が登録されていない新しい環境である場合、又は環境地図データベースを作成する場合等は、環境探索部405により、自身の移動量からロボット装置1自身が現在置かれている環境の全てのランドマークの位置関係を獲得し、新たに探索した環境毎に識別可能な例えばEnv1、Env2等の環境IDを付して、探索した新しい環境内の全てのランドマークLの種類及びその位置関係を、この新しい環境に対応する環境IDと共に環境地図記憶部403に記憶する。

2-1. ランドマーク

次に、環境内に配置されるランドマークについて説明する。図8は、ランドマークの一例を示す模式図である。本実施の形態においては、三角、四角、丸の3つの形状の幾何学パターンに赤、青、黄、及び緑の4つの色を使用し、これらの形状及び色を組み合わせることにより、一意に特定可能（unique）な複数種のランドマークを得ることができる。図8は、左に四角形、中央に円形、右に三角形の幾何学パターンを配置し、各パターンの位置関係を固定して配置して、各パターンの色を4色、組み合わせることによって、合計24種類のランドマークを作成した例を示す。このように、複数の幾何学パターンの位置関係及び配色により、異なるランドマークを形成することができる。

また、図8においては、例えば、ランドマークL1とランドマークL2とでは、四角形、円形、三角形の位置関係は同じであるものの、その配置される位置がわずかに異なる。ロボット装置1は、これらの位置の違いも認識することが可能であり、実際には、無数の異なるランドマークを作成し、ロボット装置1に認識させることが可能である。ロボット装置1は、このような3つの形状パターンを観測した場合にランドマークとして認識するよう設定されているか、又は、使用されるランドマークを予め登録しておくこと等により、ランドマークを観測して識別することができる。また、ロボット装置1は、図8に示すようなランドマーク

の場合は、ランドマークの方向も検出可能であり、ランドマークの位置だけではなくその方向も検出することにより、より少ないランドマークで更に正確に環境を識別して特定することができる。

次に、本実施の形態の環境同定装置 400 の処理の流れを説明する。図 9 は、本実施の形態の環境同定方法を示すフローチャートである。図 9 に示すように、環境地図構築部 402 にて、先ず、ランドマークを観測、又は、ロボット装置 1 自身の動作を検出した場合（ステップ S1）、環境地図の内部モデルを更新する（ステップ S2）。ここで、環境地図は、ロボット装置 1 及びランドマークの状態ベクトル 1 を使用して下記（1）のように示すものとする。この環境地図及び状態ベクトルについての詳細は後述する。

(\hat{i}, Σ_i) : 環境地図

・・・(1)

ここで、

\hat{i} : 状態ベクトル中央値

Σ_i : 状態ベクトルの共分散行列

この環境地図が環境地図構築部 402 から環境同定部 404 に供給されると、環境同定部 404 は、環境地図記憶部 403 の環境データベースを検索し、この環境地図と最も適合する環境地図とその環境 ID (Environment ID) を探し出す（ステップ S3）。

適合する環境地図及び環境 ID が環境データベースに登録されていた場合（ステップ S4: NO）、この環境 ID を現在ロボット装置 1 が置かれている環境として出力する（ステップ S5）。一方、適合する環境地図及び環境 ID がデータベース 406 に登録されていない場合（ステップ S4: YES）、環境探索部 405 にて環境探索行動中か否かが判断される（ステップ S6）。環境探索行動中の場合（ステップ S6: YES）、直前に出力した環境 ID を現在、ロボット装置 1 が置かれている環境として出力する（ステップ S8）。一方、環境探索行動

中でない場合、即ち、環境探索を終了している場合（ステップS6：NO）、その環境地図を、新しい環境地図として環境地図記憶部403の環境データベースに追加する（ステップS7）。

ステップS6における探索行動状態は、環境探索部405によって制御され、ロボット装置1が環境内の全てのランドマークを訪問したかどうかを検出し（ステップS9）、未だ、その環境内のすべてのランドマークを観測していない場合には、環境探索行動中となる。

2-2. 環境地図構築部

次に、図3に示す各処理部について更に詳細に説明する。まず、環境地図構築部402における環境地図構築方法について説明する。環境地図構築部402は、ランドマークの観測情報とロボット装置1自身の動作の観測情報（移動状態量）を利用して、ロボット装置1が現在置かれている環境の環境地図（Environment Map）Nを構築する。

ここで、環境地図構築部402が環境を認識する際に、ランドマークの観測情報及びロボット装置1の自身の動作観測情報を利用して環境認識する理由について説明する。なお、図10乃至図12においては、ランドマークLとして図8に示すものとは異なり、外円及び内円からなる円形で、外円と内円とが異なる色を有するパターンをランドマークとして使用した例を示すが、このようなランドマークも色の組み合わせにより、複数種のランドマークを得ることができ、これらを複数組み合わせで配置することによって一意に特定可能な環境を形成することができる。

例えば、図10に示すように、6つのランドマークLを有する環境の中心位置にロボット装置421が置かれていた場合に、ロボット装置421が向く方向（姿勢方向）を変更すると、ランドマークLの観測結果のみを使用してランドマークの位置を把握しようとする、ロボット装置421には、そのカメラで観測されたランドマークの位置情報が時系列で入力されるため、図11に示すように、自身の移動に伴い、同一のランドマークにおいてもその位置がずれて観測されてしまい、ランドマークの位置を特定することができない。そこで、ロボット装置421のランドマーク観測結果と共にロボット装置421の移動量及び姿勢方向

の移動状態量を考慮することで、図12に示すように、ある程度観測を続けると、同一のランドマークの位置が収束して、環境を認識することができるようになる。

ここで、ランドマークの観測情報は、ロボット装置1に備えられたカメラによる観測結果として得ることができ、ロボット装置1の移動量及び姿勢方向である移動状態量は、ロボット装置1自身が検出することができるが、これらの情報には、このカメラの観測結果誤差、並びの移動量及び姿勢方向の検出誤差等が含まれる。

そこで、本実施の形態は、この環境地図を、ロボット装置1の状態（状態量） l_r と n 個のランドマークの状態（状態量） $l_i = (l_{i1}, l_{i2}, \dots, l_{in})^T$ の推定値によって構成される状態ベクトル $l = (l_r, l_1, l_2, \dots, l_n)^T$ によって表現する。また、ロボット装置1の状態 l_r はロボット装置1の位置・姿勢を用いて $l_r = (x, y, \theta)^T$ 、各ランドマークの状態 l_i はランドマークのワールド座標系における位置を用いて $l_i = (x_i, y_i)$ と表す。

そして、これらの状態量を統計的に扱うため、ガウス分布を有する確率密度関数 $p(l)$ によって表現し、環境地図を下記(2)に示す記号によって表すこととする。

$$\hat{l} = \begin{pmatrix} \hat{l}_r \\ \hat{l}_1 \\ \vdots \\ \hat{l}_n \end{pmatrix} \quad \Sigma_l = \begin{pmatrix} \Sigma_{rr} & \Sigma_{r1} & \cdots & \Sigma_{rn} \\ \Sigma_{1r} & \Sigma_{11} & \cdots & \Sigma_{1n} \\ \Sigma_{2r} & \Sigma_{21} & \cdots & \Sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma_{nr} & \Sigma_{n1} & \cdots & \Sigma_{nn} \end{pmatrix}$$

$$\hat{l}_r = \begin{pmatrix} \hat{x}_r \\ \hat{y}_r \\ \hat{\theta}_r \end{pmatrix} \quad \hat{l}_i = \begin{pmatrix} \hat{x}_i \\ \hat{y}_i \end{pmatrix} \quad \cdots (2)$$

\hat{l} :状態ベクトルの中央値

Σ_l :状態ベクトルの共分散行列

(\hat{l}, Σ_l) :環境地図

$l_i = (x_i, y_i)$:ランドマークの状態ベクトル

$l_r = (x, y, \theta)^T$:ロボット装置の状態ベクトル

ここで、環境地図を求めることは、この状態ベクトル $l = (l_r, l_1, l_2, \dots, l_n)^T$ を同定することであるため、本実施の形態では、この問題を、ロボット装置 1 の動きを入力とし、ランドマークの観測を観測量とする、拡張カルマンフィルタ (Extended Kalman Filter) モデルを用いた状態ベクトル l の同定問題に帰着した。

2-2-1. 拡張カルマンフィルタ

以下、拡張カルマンフィルタについて説明する。拡張カルマンフィルタモデルでは、ある状態 l において、ある入力 m を行った場合の理論的な状態遷移を与える関数 (遷移関数) を $F(l, m)$ 、ある状態 l においてある既知の観測情報 o (ランドマークの位置等) の理論値を与える関数 (観測関数) を $H(l)$ 、状態 l 及び観測情報 o へのノイズ成分 (中央値 0 のガウス分布を持つノイズ成分を仮定) を w, v としたときに、状態 l 及び観測情報 o のモデルを下記式 (3)、(4) で表す。

$$l \leftarrow F(l, m) + w \quad \dots (3)$$

$$o \leftarrow H(l) + v \quad \dots (4)$$

図 13 は、拡張カルマンフィルタ(Extended Kalman Filter)モデルの模式図である。図 13 に示すモデルにおいて、入力情報 m 、観測情報 o によって状態量 l を更新する更新則について説明する。

ある時点での状態 l が、下記 (5), (6) で推定されているものとする。

$$\hat{l}: \text{中央値} \quad \dots (5)$$

$$\Sigma_l: \text{共分散行列} \quad \dots (6)$$

先ず、状態 l において、ある入力 m を観測した場合、状態 l の中央値、共分散行列は下記式 (7), (8) により更新する。

$$\text{入力情報による更新: } \hat{l} \leftarrow F(\hat{l}, \hat{a}) \quad \dots (7)$$

$$\Sigma_l \leftarrow \nabla F_l \Sigma_l \nabla F_l^T + \nabla F_a \Sigma_a \nabla F_a^T \quad \dots (8)$$

ここで、

$\nabla F_l: \partial F / \partial l$ によって与えられるヤコビ行列

ここで、

$\nabla F_a: \partial F / \partial a$ によって与えられるヤコビ行列

一方、状態 l において、ある観測情報 o を観測した場合、状態 l の中央値、共分散行列は下記式 (9), (10) により更新する。

$$\begin{aligned} \text{出力情報による更新: } \hat{l} &\leftarrow \hat{l} + W\hat{v} & \dots (9) \\ \Sigma_l &\leftarrow \Sigma_l - W \Sigma_v W^T & \dots (10) \end{aligned}$$

ここで、

$W: W = \Sigma_l \nabla H_l^T \Sigma_v^{-1}$ で与えられるカルマンフィルタゲイン

$\hat{v}: \hat{v} = \hat{o} - H(\hat{l})$ で与えられる観測誤差の中央値

$\Sigma_v: \Sigma_v = \Sigma_s + \nabla H_l \Sigma_l \nabla H_l^T$ で与えられる観測誤差の共分散

2-2-2. 環境地図更新方法

次に、環境地図を計算する処理の流れを説明する。図14A及び図14Bは、環境地図を更新しながら環境地図を構築する方法を示すフローチャートである。環境地図には、初期値が入力されているものとする。ロボット装置1自身の動きが観測された場合（ステップS11）、環境地図のロボット装置1の状態 l_r を更新する（ステップS12）。また、ランドマークを観測した場合（ステップS13）、観測したランドマークが、現在の環境地図のランドマークの状態 l_L に存在しない新しいランドマークであるかどうかを判断する（ステップS14）。そして、観測されたランドマークが新しいランドマークである場合（ステップS14: YES）、ランドマーク状態 l_L に新しいランドマーク状態 l_{n+1} を追加する（ステップS15）。一方、観測されたランドマークが、新しいランドマークでない場合（ステップS14: NO）、再観測されたランドマークの状態 l_L を更新する（ステップS16）。この処理を繰り返すことによって、環境地図を構築することができる。

上記のステップS12, 15, 16において、即ち、ステップS12において、ロボット装置1が自身の動作を観測したとき、ステップS15において、新規ランドマークを観測したとき、及びステップS16において、ランドマークを再観測したときに環境地図の再計算が行われる。次に、この環境地図の更新方法について詳細に説明する。

A. ロボット装置が自身の動作を観測した場合 (Robot Motion Observation)

ロボット装置 1 が動作した場合は、拡張カルマンフィルタの入力情報による更新則により、状態ベクトルの中央値、共分散行列を次のように更新する。観測されたロボット装置 1 の移動量を $m = (x_m, y_m, \theta_m)$ とすると、上述のように、ロボット装置 1 の移動量の観測量も統計的に扱うため、ガウス分布を持つ確率密度関数 $p(m)$ によって下記式 (11) のように表現することができる。

$$p(m) \sim N(\hat{m} = (\hat{x}_m, \hat{y}_m, \hat{\theta}_m)^T, \Sigma_m) \quad \dots (11)$$

ここで、

\hat{m} : 状態量の中央値

Σ_m : 状態量の共分散行列

ロボット装置 1 の状態 l_r において、移動量 m の動作を行った後の、ロボット装置 1 の状態 l_r' は、幾何学的に下記式 (12) で求めることができる。

$$l_r' = l_r + R_3(\theta_r)m \quad \dots (12)$$

上記式 (12) の右辺を関数 $f(l, m)$ とする。ロボット装置 1 の動きによって、ランドマークの状態 $l_L = (l_1, l_2, \dots, l_n)^T$ は影響を受けないので、環境地図の状態ベクトル $l = (l_r, l_1, l_2, \dots, l_n)^T$ は、変更されない。従って、状態ベクトル l の中央値は、下記式 (13) となり、共分散行列は、下記式 (14) となる。これらの計算にかかる計算コストは $O(n)$ である。

$$\hat{l} \leftarrow f(\hat{l}, \hat{m}) = \begin{pmatrix} f(\hat{l}_r, \hat{m}) \\ \hat{l}_1 \\ \vdots \\ \hat{l}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{l}_r + R_3(\hat{\theta}_r) \hat{m} \\ \hat{l}_1 \\ \vdots \\ \hat{l}_n \end{pmatrix} \quad \dots (13)$$

$$\Sigma_l \leftarrow \begin{pmatrix} \nabla f_r \Sigma_{rr} \nabla f_r^T + \nabla f_m \Sigma_m \nabla f_m^T & \nabla f_r \Sigma_{r1} & \dots & \nabla f_r \Sigma_{rn1} \\ \Sigma_{1r} \nabla f_r^T & \Sigma_{11} & \dots & \Sigma_{1n} \\ \Sigma_{2r} \nabla f_r^T & \Sigma_{21} & \dots & \Sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma_{nr} \nabla f_r^T & \Sigma_{n1} & \dots & \Sigma_{nn} \end{pmatrix} \quad \dots (14)$$

ここで、

$\nabla f_r : \frac{\partial f}{\partial r}$ によって得られるヤコビアン

$\nabla f_m : \frac{\partial f}{\partial m}$ によって得られるヤコビアン

B. 新規ランドマークを観測した場合 (New Landmark Observation)

新しいランドマークを観測した場合、拡張カルマンフィルタの入力情報による更新則により、状態ベクトル l の中央値、共分散行列を次のように再計算することで、環境地図を更新する。

新しく観測されたランドマークのロボット装置 1 からの相対的な位置を $o = (x, y)$ とすると、前述のように、ランドマークの位置の観測量も統計的に扱うため、ガウス分布を持つ下記式 (15) に示す確率密度関数 $p(o)$ によって表現する。

$$p(o) \sim N(\hat{o} = (\hat{x}_o, \hat{y}_o)^T, \Sigma_o) \quad \dots (15)$$

ここで、

\hat{o} : 状態量の中央値

Σ_o : 状態量の共分散行列

ロボット装置 1 の状態 $l_r = (x, y, \theta)^T$ において、新しいランドマーク $o = (x, y)$ を観測した場合、ランドマークのワールド座標系での位置 l_i は、幾何学的に下記式 (16) で求めることができる。

$$l_i = (x_r, y_r)^T + R(\theta_r)(x, y)^T \quad \dots (16)$$

上式の右辺を関数 $g(l, o)$ とする。新しいランドマークの観測によって、ロボット装置 1 の状態 l_r と既知のランドマークの状態 $l_L = (l_1, l_2, \dots, l_n)^T$ は影響を受けない。ランドマークの状態に新たに l_{n+1} を追加する。従って、状態ベクトル l の中央値は、下記式 (17) となり、共分散行列は下記式 (18) となる。これらの計算にかかると計算コストは $O(n)$ である。

$$\hat{l} \leftarrow \begin{pmatrix} \hat{l} \\ g(l_r, o) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{l} \\ (\hat{x}_r, \hat{y}_r)^T + R(\hat{\theta}_r)\hat{o} \end{pmatrix} \quad \dots (17)$$

$$\Sigma_l \leftarrow \begin{pmatrix} \Sigma_{rr} & \Sigma_{r1} & \dots & \Sigma_{rn} & \Sigma_{rr} \nabla g_r^T \\ \Sigma_{1r} & \Sigma_{11} & \dots & \Sigma_{1n} & \Sigma_{1r} \nabla g_r^T \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \Sigma_{nr} & \Sigma_{n1} & \dots & \Sigma_{nn} & \Sigma_{nr} \nabla g_r^T \\ \nabla g_r \Sigma_{rr} & \nabla g_r \Sigma_{r1} & \dots & \nabla g_r \Sigma_{rn} & \nabla g_r \Sigma_{rr} \nabla g_r^T + \nabla g_o \Sigma_o \nabla g_o^T \end{pmatrix} \quad \dots (18)$$

ここで、

$\nabla g_r : \frac{\partial g}{\partial r}$ によって得られるヤコビアン

$\nabla g_o : \frac{\partial g}{\partial o}$ によって得られるヤコビアン

C. ランドマークの再観測 (Landmark Re-Observation)

既知のランドマークを再観測した場合、拡張カルマンフィルタの出力情報によ

る更新則により、状態ベクトル 1 の中央値、共分散行列を次のように再計算することで、環境地図を更新する。

まず、再観測されたランドマークのロボット装置 1 からの相対的な位置を $o = (x_i, y_i)$ とすると、前述のように、ランドマークの位置の観測量も統計的に扱うため、ガウス分布を有する下記式 (19) に示す確率密度関数 $p(o)$ によって表現することができる。

$$p(o) \sim N(\hat{o}, \Sigma_o) \quad \dots (19)$$

ここで、

\hat{o} : 状態量の中央値

Σ_o : 状態量の共分散行列

次に、拡張カルマンフィルタの出力情報による更新則により、以下のように過程すると、状態量及び共分散行列は夫々下記式 (20), (21) で更新される。

$$v = \hat{o} - \bar{o}$$

$$\Sigma_v = \nabla h_i \Sigma_i \nabla h_i^T + \Sigma_o$$

$$W = \Sigma_i \nabla h_i^T \Sigma_v^{-1}$$

W : $W = \Sigma_i \nabla H_i^T \Sigma_v^{-1}$ で与えられるカルマンフィルタゲイン

\hat{v} : $\hat{v} = \hat{o} - H(\hat{i})$ で与えられる観測誤差の中央値

Σ_v : $\Sigma_v = \Sigma_s + \nabla H_i \Sigma_i \nabla H_i^T$ で与えられる観測誤差の共分散行列

$$\hat{i} \leftarrow \hat{i} + W_v \quad \dots (20)$$

$$\Sigma_i \leftarrow \Sigma_i - W \Sigma_v W^T \quad \dots (21)$$

ここで、ある状態におけるランドマークの状態 1_i の観測値の理論値は、幾何学

的に下記式(22)により求めることができる。この計算コストは $O(n^2)$ である。

$$\bar{o} = h(\hat{l}) = R(-\hat{\theta}_r) \begin{pmatrix} \hat{x}_i - \hat{x}_r \\ \hat{y}_i - \hat{y}_r \end{pmatrix} \quad \dots (22)$$

\bar{o} : ある状態 \hat{l} におけるランドマーク l_i の観測値の理論値

2-2-3. 環境地図構築例

図15及び図16は、ロボット装置1が環境内を歩き回ってランドマークの位置を観測して構築した環境地図を示す図である。図15は、同一形状(外円及び内円からなる)ランドマークを使用した場合であり、図16は、図8に示す異なる形状の幾何学パターンを組み合わせ得られるランドマークを使用した場合を示す。

図15に示す環境440において、 $L11_1 \sim L11_6$ は、本来のランドマークの配置位置を示している。このようなランドマーク $L11_1 \sim L11_6$ が配置された環境440内の各ランドマークを観測し、ロボット装置1が上述の方法によりランドマーク位置を推定した結果、得られたランドマーク位置を $L12_1 \sim L12_6$ に示す。この推定誤差は10cm程度であった。

また、図16に示す環境450においても、図15の場合と同様に、ほぼ正確に環境内のランドマーク位置を推定することができる。また、図16に示すように、図8に示すような異なる形状の幾何学パターンを組み合わせたランドマークを使用すると、円形の場合と異なり、そのランドマークが向く方向も検出することができ、ロボット装置1は、より精度が高い環境地図を構築することができる。

2-3. 環境同定部(Environment Identification)

次に、環境同定部404の環境同定方法について説明する。環境同定部404では、環境地図構築部402から得られる環境地図(map)を、環境地図記憶部403の環境地図データベースの環境地図(登録済環境地図)と比較することによ

って、ロボット装置 1 が現在置かれている場所を同定する。図 17 は、環境同定部 404 の環境同定方法を示すフローチャートである。

まず、環境地図が入力されると、その環境地図内のランドマークの数が、例えば 2 つ等、環境内のランドマークの最小設定数 (min) より大きいかが判断される (ステップ S21)。入力された環境地図内のランドマーク数が最小設定数 (min) より大きい場合 (ステップ S21: YES)、ランドマークの個数が前回と変化したか否かが判定され (ステップ S22)、前回とランドマークの個数が変化している場合 (ステップ S22: YES) は、その環境地図を環境地図データベースに登録されている環境地図群と比較し、入力された環境地図に類似した環境地図を探す (ステップ S23)。そして、類似した環境地図が一つである場合 (ステップ S24: YES)、環境 ID としてステップ S24 で適合した環境地図の環境 ID を代入する (ステップ S25)。

一方、ステップ S24 にて、類似した環境地図が 1 つでない場合、類似した環境地図が複数あるか否かが判定され (ステップ S27)、ステップ S27 にて複数ある場合は、環境 ID として曖昧 (ambiguous) を代入する (ステップ S28)。一方、ステップ S27 にて、一致した環境地図が複数存在しない場合、即ち、類似した環境地図が一つもなかった場合には、環境 ID として不明 (unknown) を代入する (ステップ S29)。

また、ステップ S21 において、入力された環境地図内のランドマーク数がランドマークの最小設定数 (min) よりも少ない場合 (ステップ S21: NO) にも、ステップ S29 に進み、環境 ID として不明 (unknown) を代入する。

また、ステップ S21 において、入力された環境地図内のランドマーク数が最小設定数よりも大きい場合でも、ステップ S22 において、ランドマークの数が前回と変化していないと判定された場合 (ステップ S21: YES, ステップ S22: NO) は、入力された環境地図が変化しているか否か、即ち、ランドマークの位置が変化しているか否かを判定し (ステップ S26)、変化している場合 (ステップ S26: YES) には、ステップ S23 に進み環境地図のマッチングを行う。一方、環境地図が変化していない場合 (ステップ S26: NO) には、ステップ S30 へ進む。

ステップS30では、探索行動中か否かと前回の環境IDが不明(unknown)であったか否かを判断する。探索行動中が終了しており、且つ、前回の環境IDが不明(unknown)であった場合(ステップS30: YES)、入力された環境地図に対する新しい環境IDと併せて環境地図データベースに登録し(ステップS31)、環境IDには新しく登録した環境IDを代入する(ステップS32)。一方、ステップS31において、探索行動中であつたり、前回の環境IDが不明(unknown)でなかったりした場合は、環境IDとして、前回の環境IDを代入する(ステップS33)。

そして、最後に、ステップS25、ステップS28、ステップS29、ステップS32、又はステップS33にて代入された環境IDを出力する。ステップS21及びステップS22の条件分岐は、入力された環境地図が前回と変化していない場合に、ステップS24の環境地図のマッチング処理をする手間を省くためである。

また、ステップS30では、後述する環境探索部405がロボット装置1の探索行動状態の状態を管理し、環境探索部405により、ランドマークの探索行動が終了した場合に立てられる探索終了フラグにより探索終了か否かを判定する。

2-3-1. 類似性の評価方法

次に、ステップS24の処理において、データベースの環境地図と入力された環境地図の類似性を評価する方法について述べる。

本実施の形態においては、環境地図間の類似性を数値化するために、マハラノビス(Mahalanobis)距離Wを用いた。マハラノビス距離とは、2つの正規分布X, Y間の距離を下記式(23)で定義したものである。最小マハラノビス距離Wをマッチング誤差として使用し、この最小マハラノビス距離Wが所定の閾値以下であるか否かにより、類似性を判定することができる。下記(23)において、rがマハラノビス距離を示す。

$$r^2 = (X - Y)^T \Sigma^{-1} (X - Y) \quad \dots (23)$$

ここで、二つの環境地図（MAP 1，MAP 2）を下記（24），（25）のように表すときの2つの環境地図間の距離（マッチング誤差）Wを上記式（23）により求める。

$$(\hat{l}, \Sigma): \text{MAP 1} \quad \dots (24)$$

$$(\hat{l}', \Sigma'): \text{MAP 2} \quad \dots (25)$$

環境地図のワールド基準系の座標は、地図毎に異なるため、これらの二つの分布の間には、互いに回転、併進移動の自由度が存在する。従って、MAP 1の座標系と、MAP 2の座標系との回転移動（回転角）を ω 、併進移動をTとすると、MAP 1におけるMAP 2は、下記式（26），（27）と表すことができる。

$$\hat{l}' = R(\omega)\hat{l} + T \quad \dots (26)$$

$$\Sigma_i = \Sigma_i + R(\omega)\Sigma_i R(\omega)^T \quad \dots (27)$$

これを、上記式（23）に代入すると、MAP 1，MAP 2間の距離（マッチング誤差）Wは、下記式（28）となる。

$$\begin{aligned} W &= (\hat{l}_i - \hat{l}_i)^T \Sigma_i^{-1} (\hat{l}_i - \hat{l}_i) \\ &= (\hat{l}_i - (R(\omega)\hat{l}' + T))^T (\Sigma_i + R(\omega)\Sigma_i' R(\omega)^T)^{-1} (\hat{l}_i - (R(\omega)\hat{l}' + T)) \quad \dots (28) \end{aligned}$$

マッチング誤差Wを求めるためには、最終的にはマッチング誤差Wを最小にする回転角 ω 、併進移動Tを求める必要がある。これは、非常に困難な問題である

が、仮に、共分散値が一定である、即ち下記式（２９）を仮定すると、上記式（２８）は下記式（３０）で近似でき、容易に解くことができる。これにより、最小となるマハラノビス距離 W を求め、上述のステップＳ２３のマッチングにおけるマッチング誤差として使用し、マッチング誤差 W が所定の閾値以下である場合に、一致であると判定する。

$$\Sigma_i = cI \quad \dots (29)$$

$$\omega = \tan^{-1} \frac{S_{xy'} - S_{yx'}}{S_{xx'} + S_{yy'}}$$

$$T = \bar{l}' - R(\omega)\bar{l}$$

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_i l_i$$

$$\bar{l}' = \frac{1}{n} \sum_i l'_i$$

$$\begin{pmatrix} S_{xx'} & S_{yx'} \\ S_{yx'} & S_{yy'} \end{pmatrix} = \sum_i (l_i - \bar{l})(l_i - \bar{l})^T \quad \dots (30)$$

２－４．環境地図記憶部(Database of Environment)

次に、環境地図記憶部４０３について説明する。環境地図記憶部４０３では、環境地図構築部４０２が出力する環境地図に環境ＩＤを割り当てて、これらをセットにして記憶する。環境ＩＤには、図１８に示すように、各環境（例えば、Env１～Env３）に対して、重複しない正の整数（例えば１～３）を設定する。

また、数字で表される環境ＩＤに対して、「タロウの部屋」、「花子の部屋」、「トイレ」（Ｗ．Ｃ．）、「台所」といった環境名を付与することもできる。環境名は、ロボット装置とユーザとの対話等によって獲得する。以下にロボット装置とユーザとの対話例を示す。

対話例：

ロボット装置：「ここの名前を教えて」

ユーザ：「ここは、タロウの部屋、だよ」

ロボット装置：「わかった。タロウの部屋、だね」

環境地図及び環境IDは、電源を切っても記憶しておく必要があるため、ロボット装置1本体のフラッシュメモリにファイルとして保存しておき、再起動時には、このファイルを読み出すことによって、環境地図データを復元する。また、これらの環境地図は、すべてロボット装置1が動的に獲得したものである必要はなく、ユーザが他の手段で編集、又は登録してもよい。

2-5. 環境探索部(Exploration/Robot Control)

次に、環境探索部405について説明する。環境探索部405では、環境地図を構築するために十分なランドマークを観測するために、ロボット装置1の行動を制御しランドマークを探すとともに、上述したように、探索行動状態を通知する。

本実施の形態における環境同定方法においては、環境内の全てのランドマークを観測し終わるまでは、正確な環境同定をすることが難しい場合がある。従って、何らかの方法で、環境内の全てのランドマークを観測し終わったことを知る必要がある。環境内の全てのランドマークを観測し終わったことを知る方法としては、環境内に予め配置されるランドマークの個数を設定しておき、ロボット装置1が設定された個数のランドマークを観測した時点で探索を終了する方法、所定の時間内環境内をランダムに移動させて全てのランドマークを観測させ、探索を終了する方法、所定の位置で360°回転することによりランドマークを観測して探索を終了する方法、現在観測しているランドマーク位置まで移動し、その位置で360°回転し、更に、その位置から観測されるランドマーク位置まで移動し、その位置で再び360°回転するというような動作を繰り返し、全てのランドマークを回るまで観測を続け探索を終了する方法、若しくはオペレータによりロボット装置1をリモートコントロールして、全てのランドマークを観測させ探索を終了する方法、又はこれらの方法を組み合わせる等の方法がある。

ここでは、ロボット装置1とユーザとの対話により探索終了を知る方法、環境内のランドマークの個数を予め設定しておく方法、所定の時間内環境内をランダムに移動する方法、所定の位置で360°回転する方法、及び発見したランドマーク全てを訪問する方法の5つの特徴的な例で実験を行った結果について説明す

る。

2-5-1. ユーザによる指示対話

ロボット装置1がユーザのリモートコントロールによる指示、又はロボット装置1の意思によって環境内を動き回っている状況において、ユーザとの対話によって、環境内のランドマークをすべて観測し終わったことを認識する。

ロボット装置1とユーザとの対話によるシーケンス例を以下に示す。

対話例：

ロボット装置：「ランドマークは4つでいいの？」

ユーザ：「違うよ。ランドマークの数は、6個だよ。」

ロボット装置：「じゃあと2つだね。」

ユーザ：「そうだよ。」

ロボット装置：ランドマークを探しに行く。

ロボット装置：「ランドマークは6つでいいの？」

ユーザ：「そうだよ。」

2-5-2. 環境内のランドマークの数を固定した場合

ある一つの環境内に存在するランドマークの数Nを固定し、ロボット装置1はN個のランドマークを発見するまでは、探索行動状態であるとする。ロボット装置1の環境地図に含まれるランドマークの数がN個以上になった場合、探索行動状態から抜け、探索終了フラグを立てる。例えば図19に示すような環境の場合、ランドマークの数が4個に設定されているため、ロボット装置1は、4個のランドマークを発見するまでは探索行動状態であるとし、探索を続ける。

2-5-3. 所定の時間内環境内をランダムに移動する場合

ロボット装置1は環境内をランダムに移動し、所定の時間内で発見できるだけ のランドマークを発見する。所定の時間が経過した場合、探索行動状態から抜け、探索終了フラグを立てる。例えば、図19のような環境の場合、ロボット装置1は、所定の時間（例えば数分間）だけ探索行動を行う。なお、この所定の時間としては、環境の広さやランドマークの数等を考慮して設定することが好ましい。

2-5-4. 所定の位置で360°回転する場合

ロボット装置1は所定の位置（例えば環境の中央付近）で360°回転し、ラ

ランドマークを観測して探索を終了する。例えば図 19 に示すような環境の場合、ロボット装置 1 は、所定の位置で 360° 回転し、観測可能なランドマーク L20 ~ L22 を発見した時点で探索行動を終了する。なお、図 19 の場合、ロボット装置 1 は、ランドマーク L23 を発見することができない。

2-5-5. ランドマーク探索行動

環境内のランドマークを可能な限り発見するために、発見した全てのランドマークを訪問して歩いていく。まず、環境内のある地点からスタートし、ランダムに歩き回り、そこで周りを 360 度見渡す。そこで発見したランドマークを訪問待ち行列とする。次に、訪問待ち行列から一つを選んで、そのランドマークまで歩いていき、ランドマークに到達したら訪問待ち行列からそのランドマークを削除し、ランドマーク付近で周りを全て見渡し、新しいランドマークを発見する。新しく発見されたランドマークは、訪問待ち行列に追加する。これを繰り返して、訪問待ち行列が空になるまでランドマークを訪問して歩く。他のどのランドマークからも観測不可能なランドマークがない場合は、このような戦略で環境内の全てのランドマークを発見することができる。例えば図 19 に示すような環境の場合、まず、周りを 360° 見渡して発見できるランドマーク L20 ~ L22 が訪問待ち行列となり、訪問待ち行列から一つを選んで、そのランドマークまで歩いていく。そして、ランドマーク L22 の付近で周りを見渡すことで新たなランドマーク L23 を発見し、訪問待ち行列に追加する。

本実施の形態においては、ロボット装置 1 は、形状及び／又は色等により異なる複数の人工的なランドマークが存在する一意に特定可能な環境内のランドマークを認識するランドマークセンサ（ランドマーク認識手段）、及びこのランドマークセンサによって獲得したランドマーク情報を記憶する記憶手段、ロボット装置 1 自身の行動を記憶する行動記憶手段を有しており、ランドマークセンサと行動記憶装置とから幾何的な環境地図を構築することができる。

また、ロボット装置 1 は、ランドマークの観測に基づき構築した現在の環境地図 N と、環境地図記憶部 403 に記憶された既知の環境地図群とを比較することによって、ロボット装置 1 が現在置かれている環境を同定することができる。既知の環境地図は、ユーザが作成して環境地図記憶部 403 に供給してもよいし、

ロボット装置 1 自身によって学習されたものであってもよい。即知の環境地図は個々のランドマークの位置 (x, y) を有しており、環境地図の比較は、現在観測している現在の環境地図におけるランドマークの位置と、既知の環境地図におけるランドマークの位置とを比較し、それらの類似性を評価することにより行うことができる。

更に、ロボット装置 1 は、環境探索部 405 により、環境を探索し、探索が終了したことを告げるロボット制御手法により環境地図を構築し、この環境地図と、記憶装置に保存されている環境地図との類似度を出力して、類似度がある閾値を超えた環境地図の環境 ID を出力することにより環境を同定すると共に、探索が終了し、データベースに類似する環境地図がない場合には、新しい環境地図と環境 ID を環境地図記憶部 403 に追加することができる。

更にまた、このように、一意に特定可能な複数に分割した環境地図を有することによって、ロボット装置 1 が物理的に離れた複数の環境（例えば、物理的に距離が離れた場所にある部屋 A と部屋 B）を素早く識別することができ、環境全てを大きな環境地図によって保持する手法に比べて、計算負荷が少なく、ランドマーク又はロボット装置の動きを観測した際の、環境地図の更新時の計算量も少なくてもよい。更に、物理的に離れた場所にある場所 A と場所 B を違う環境地図 Map A, Map B として記憶するため、それらの場所の相対的な位置関係には関知しなくてよい。また、全てのランドマークを認識しなくても、ある程度の情報から現在の環境を同定することができる。このように、各環境毎に一つの環境地図を構築し、記憶手段に登録された環境地図群との比較をダイナミックに行うことにより、素早く、現在の環境を同定することができ、各々の環境での自己位置同定を行うことができる。

3. ロボット装置の詳細

3-1. ソフトウェア

次に、上述した図 4 に示したロボット装置 1 が行動を決定するためのソフトウェアの構成及び動作について詳細に説明する。図 20 は、図 4 に示すソフトウェア 300 の動作を示すフローチャートである。

図 4 に示すソフトウェア 300 のキネマティックオドメトリ KINE 310 に

は、上述したように、画像データ 301 及びセンサデータ 302 が入力される。この画像データ 301 は、カラー画像及びステレオカメラによる視差画像である。また、センサデータは、ロボット装置 1 の関節角等のデータである。キネマティックオドメトリ K I N E 3 1 0 は、これらの入力データ 301, 302 を受け取り、メモリに格納されていたそれまでの画像及びセンサデータを更新する（ステップ S 1 0 1）。

次に、これら画像データ 301 とセンサデータ 302 との時間的な対応を取る（ステップ S 1 0 2 - 1）。即ち、画像データ 301 の画像が撮像された時間におけるセンサデータ 302 の関節角を割り出す。次いで、この関節角のデータを使用してロボット装置 1 が中心に固定されたロボット中心座標系を頭部ユニットに設けられたカメラの座標系へ変換する（ステップ S 1 0 2 - 2）。この場合、本実施の形態においては、ロボット中心座標系からカメラ座標系の同時変換行列等を導出し、この同時変換行列 311 とこれに対応する画像データとを画像認識を行うオブジェクトへ送信する。即ち、同時変換行列 311 及びこれに対応する視差画像 312 を平面抽出部 P L E X 3 2 0 へ出力し、同時変換行列 311 及びカラー画像 313 をランドマークセンサ部 C L S 3 4 0 へ出力する。

また、センサデータ 302 から得られる歩行パラメータと、足底センサを使用した歩数のカウント数とからロボット装置 1 の移動量を算出し、ロボット装置 1 のロボット中心座標系における移動量を算出する。以下、ロボット中心座標系の移動量をオドメトリともいう。このオドメトリ 314 を障害物グリッド算出部 O G 3 3 0 及び絶対座標算出部 L Z 3 5 0 へ出力する。

平面抽出部 P L E X 3 2 0 は、キネマティックオドメトリ K I N E 3 1 0 にて算出された同時変換行列 311 と、これに対応するステレオカメラから得られる視差画像 312 とが入力されると、それまでメモリに格納されていたこれらのデータを更新する（ステップ S 1 0 3）。そして、ステレオカメラのキャリブレーションパラメータ等を使用して視差画像 312 から 3 次元の位置データ（レンジデータ）を算出する（ステップ S 1 0 4 - 1）。次いで、このレンジデータからハフ変換等を使用して、例えば壁及びテーブル等の平面を除く平面を平面として抽出する。また、座標変換行列 311 からロボット装置 1 の足底が接地している

平面との対応を取り、床面を選択し、床面上にない点、例えば所定の閾値よりも高い位置にあるもの等を障害物として床面からの距離を算出し、この障害物情報 (obstacle) 321 を障害物グリッド算出部 330 に出力する (ステップ S104-2)。

障害物グリッド算出部 OG330 では、上述したように、キネマティックオドメトリ KINE310 にて算出されたオドメトリ 314 と、平面抽出部 PLEX320 にて算出された障害物の観測情報 (障害物情報) 321 とが入力されると、メモリに格納されていたそれまでのデータを更新する (ステップ S105)。そして、床面上に障害物があるか否かの確率を保持する障害物グリッドを確率的手法により更新する (ステップ S106)。

この障害物グリッド算出部 OG330 は、ロボット装置 1 を中心とした例えば周囲 4 m の障害物情報 (環境地図) と、ロボット装置 1 の向く方角を示す姿勢情報とを保持しており、確率的手法により環境地図を更新し、この更新した認識結果 (障害物情報 331) を出力することにより、上位レイヤ、即ち、本実施の形態においては、経路計画決定部 SBL360 にて障害物を回避する計画を作成することができる。

ランドマークセンサ部 CLS340 は、キネマティックオドメトリ KINE310 から同時変換行列 311 及びカラー画像 313 が入力されると、予めメモリ内に格納されていたこれらのデータを更新する (ステップ S107)。そして、カラー画像 313 の画像処理を行って、予め認識しているカラーランドマークを検出する。このカラーランドマークのカラー画像 313 上での位置及び大きさをカメラ座標系での位置に変換する。更に、同時変換行列 311 を使用し、カラーランドマークのカメラ座標系での位置をロボット中心座標系における位置に変換し、ロボット中心座標系におけるカラーランドマーク位置の情報 (カラーランドマーク相対位置情報) 341 を絶対座標算出部 LZ350 に出力する (ステップ S108)。

絶対座標算出部 LZ350 は、キネマティックオドメトリ KINE310 からのオドメトリ 314 と、ランドマークセンサ部 CLS340 からのカラーランドマーク相対位置情報 341 とが入力されると、予めメモリ内に格納されていたこ

これらのデータが更新される（ステップS109）。そして、絶対座標算出部LZ350が予め認識しているカラーランドマークの絶対座標（ワールド座標系での位置）、カラーランドマーク相対位置情報341、及びオドメトリ314を使用し、確率的手法によりロボット装置1の絶対座標（ワールド座標系での位置）を算出する。そして、この絶対座標位置351を経路計画決定部SBL360に出力する。

経路計画決定部SBL360は、障害物グリッド算出部OG330から障害物グリッド情報331が入力され、絶対座標算出部LZ350から絶対座標位置351が入力されると、予めメモリに格納されていたこれらのデータが更新される（ステップS111）。そして、経路計画決定部SBL360は、障害物グリッド算出部OG330からの障害物情報331により、ロボット装置1の周囲に存在する障害物に関する認識結果を取得し、絶対座標算出部LZ350から現在のロボット装置1の絶対座標を取得することにより、絶対座標系又はロボット装置中心のロボット中心座標系で与えられた目標地点に対して障害物に衝突せずに歩行可能な経路を生成し、経路に応じて経路を遂行する動作コマンドを発行する。即ち、入力データから状況に応じてロボット装置1が取るべき行動を決定し、その行動列を出力する（ステップS112）。

また、人間によるナビゲーションの場合には、障害物グリッド算出部OG330からロボット装置の周囲に存在する障害物に関する認識結果及び絶対座標算出部LZ350からの現在のロボット装置1の位置の絶対座標をユーザに提供し、このユーザからの入力に応じて動作コマンドを発行させる。

図21は、上述のソフトウェアに入力されるデータの流れを模式的に示す図である。なお、図21において、図3及び図4に示す構成と同一構成要素には同一符号を伏してその詳細な説明は省略する。

顔検出部FDT (Face Detector) 371は、画像フレーム中から顔領域を検出するオブジェクトであり、カメラ等の画像入力装置からカラー画像202を受け取り、それを例えば9段階のスケール画像に縮小変換する。この全ての画像の中から顔に相当する矩形領域を探索する。重なりあった候補領域を削減して最終的に顔と判断された領域に関する位置、大きさ、及び特徴量等の情報

372を出力して、顔識別部FI (Face Identify) 377へ送る。

顔識別部FI 377は、検出された顔画像を識別するオブジェクトであり、顔の領域を示す矩形領域画像からなる情報372を顔検出部FDT 371から受け取り、この顔画像がメモリに格納されている手持ちの人物辞書のうちでどの人物に相当するかを比較して人物の識別を行う。そして、顔検出部EDT 371から受け取った顔画像の顔画像領域の位置、大きさ情報と共に人物のID情報378をDIL 379に出力する。

色認識部MCT (Multi Color Tracker) 373は、色認識を行うオブジェクトであり、カメラ等の画像入力装置からカラー画像202を受け取り、予め保有している複数のカラー・モデル情報に基づいて色領域を抽出し、連続した領域に分割する。色認識部MCT 373は、分割した各領域の位置、大きさ及び特徴量等の情報374を距離情報付加部DIL (Distance Information Linker) 379に出力する。

動き検出部MDT (Motion Detector) 375は、画像の中で動いている部分を検出するオブジェクトであり、検出した動き領域の情報376を挙値情報付加部DIL 379に出力する。

距離情報付加部DIL 379は、入力された2次元の情報に距離情報を付加して3次元の情報を出力するオブジェクトであり、顔検出部FI 377からのID情報378、色認識部MCT 373からの分割した各領域の位置、大きさ及び特徴量等の情報374並びに動き検出部MDT 375からの動き領域の情報376に距離情報を付加して3次元情報380を短期記憶部STM (Short Term Memory) 381に出力する。

短期記憶部STM 381は、ロボット装置1の外部環境に関する情報を比較的短い時間だけ保持するオブジェクトであり、Arthur Decoder (図示せず) から音声認識結果 (単語、音源方向、確信度) を受け取り、色認識部MCT 373から肌色の領域の位置、大きさと顔領域の位置、大きさを受け取り、顔識別部FI 377から人物のID情報等を受け取る。また、ロボット装置1の機体上の各センサからロボット装置の首の方向 (関節角) を受け取る。そして、これらの認識結果及びセンサ出力を統合的に使って、現在どこにどの人物がいて、

しゃべった言葉がどの人物のものであり、その人物とはこれまでにどんな対話を
行ったのかという情報を保存する。こうした物体、即ちターゲットに関する物理
情報と時間方向でみたイベント（履歴）を出力として、経路計画決定部（状況依
存行動階層）（SBL）360等の上位モジュールに渡す。

経路計画決定部SBLは、上述の短期記憶部STM381からの情報を基にロ
ボット装置1の行動（状況に依存した行動）を決定するオブジェクトである。複
数の行動を同時に評価したり、実行したりすることができる。また、行動を切り
替えて機体をスリープ状態にしておき、別の行動を起動することができる。

3-2. ロボット装置の構成

以下、本発明の実施の形態における上述した環境同定装置を搭載した図1に示
すような2足歩行タイプのロボット装置について詳細に説明する。この人間型の
ロボット装置は、住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動を支
援する実用ロボットであり、内部状態（怒り、悲しみ、喜び、楽しみ等）に応じ
て行動できるほか、人間が行う基本的な動作を表出できるエンターテインメント
ロボットである。

上述したように、図1に示すロボット装置1は、体幹部ユニット2の所定の位
置に頭部ユニット3が連結されると共に、左右2つの腕部ユニット4R/Lと、
左右2つの脚部ユニット5R/Lが連結されて構成されている。

このロボット装置1が具備する関節自由度構成を図22に模式的に示す。頭部
ユニット3を支持する首関節は、首関節ヨー軸101と、首関節ピッチ軸102
と、首関節ロール軸103という3自由度を有している。

また、上肢を構成する各々の腕部ユニット4R/Lは、肩関節ピッチ軸107
と、肩関節ロール軸108と、上腕ヨー軸109と、肘関節ピッチ軸110と、
前腕ヨー軸111と、手首関節ピッチ軸112と、手首関節ロール軸113と、
手部114とで構成される。手部114は、実際には、複数本の指を含む多関節
・多自由度構造体である。ただし、手部114の動作は、ロボット装置1の姿勢
制御や歩行制御に対する寄与や影響が少ないので、本明細書ではゼロ自由度と仮
定する。したがって、各腕部は7自由度を有するとする。

また、体幹部ユニット2は、体幹ピッチ軸104と、体幹ロール軸105と、

体幹ヨー軸 106 という 3 自由度を有する。

また、下肢を構成する各々の脚部ユニット 5 R/L は、股関節ヨー軸 115 と、股関節ピッチ軸 116 と、股関節ロール軸 117 と、膝関節ピッチ軸 118 と、足首関節ピッチ軸 119 と、足首関節ロール軸 120 と、足部 121 とで構成される。本明細書中では、股関節ピッチ軸 116 と股関節ロール軸 117 の交点は、ロボット装置 1 の股関節位置を定義する。人体の足部 121 は、実際には多関節・多自由度の足底を含んだ構造体であるが、ロボット装置 1 の足底は、ゼロ自由度とする。したがって、各脚部は、6 自由度で構成される。

以上を総括すれば、ロボット装置 1 全体としては、合計で $3 + 7 \times 2 + 3 + 6 \times 2 = 32$ 自由度を有することになる。ただし、エンターテインメント向けのロボット装置 1 が必ずしも 32 自由度に限定されるわけではない。設計・制作上の制約条件や要求仕様等に応じて、自由度、即ち関節数を適宜増減することができることはいうまでもない。

上述したようなロボット装置 1 がもつ各自由度は、実際にはアクチュエータを用いて実装される。外観上で余分な膨らみを排してヒトの自然体形状に近似させること、2 足歩行という不安定構造体に対して姿勢制御を行うことなどの要請から、アクチュエータは小型且つ軽量であることが好ましい。

図 23 には、ロボット装置 1 の制御システム構成を模式的に示している。同図に示すように、ロボット装置 1 は、ヒトの四肢を表現した体幹部ユニット 2，頭部ユニット 3，腕部ユニット 4 R/L，脚部ユニット 5 R/L と、各ユニット間の協調動作を実現するための適応制御を行う制御ユニット 10 とで構成される。

ロボット装置 1 全体の動作は、制御ユニット 10 によって統括的に制御される。制御ユニット 10 は、CPU (Central Processing Unit) や、DRAM、フラッシュ ROM 等の主要回路コンポーネント (図示しない) で構成される主制御部 11 と、電源回路やロボット装置 1 の各構成要素とのデータやコマンドの授受を行うインターフェイス (何れも図示しない) などを含んだ周辺回路 12 とで構成される。

本発明を実現するうえで、この制御ユニット 10 の設置場所は、特に限定されない。図 23 では体幹部ユニット 2 に搭載されているが、頭部ユニット 3 に搭載

してもよい。あるいは、ロボット装置 1 外に制御ユニット 10 を配備して、ロボット装置 1 の機体とは有線又は無線で交信するようにしてもよい。

図 22 に示したロボット装置 1 内の各関節自由度は、それぞれに対応するアクチュエータによって実現される。即ち、頭部ユニット 3 には、首関節ヨー軸 101、首関節ピッチ軸 102、首関節ロール軸 103 の各々を表現する首関節ヨー軸アクチュエータ A₂、首関節ピッチ軸アクチュエータ A₃、首関節ロール軸アクチュエータ A₄ が配設されている。

また、頭部ユニット 3 には、外部の状況を撮像するための CCD (Charge Coupled Device) カメラが設けられているほか、前方に位置する物体までの距離を測定するための距離センサ、外部音を集音するためのマイク、音声を出力するためのスピーカ、ユーザからの「撫でる」や「叩く」といった物理的な働きかけにより受けた圧力を検出するためのタッチセンサ等が配設されている。

また、体幹部ユニット 2 には、体幹ピッチ軸 104、体幹ロール軸 105、体幹ヨー軸 106 の各々を表現する体幹ピッチ軸アクチュエータ A₅、体幹ロール軸アクチュエータ A₆、体幹ヨー軸アクチュエータ A₇ が配設されている。また、体幹部ユニット 2 には、このロボット装置 1 の起動電源となるバッテリーを備えている。このバッテリーは、充放電可能な電池によって構成されている。

また、腕部ユニット 4 R/L は、上腕ユニット 4₁R/L と、肘関節ユニット 4₂R/L と、前腕ユニット 4₃R/L に細分化されるが、肩関節ピッチ軸 107、肩関節ロール軸 108、上腕ヨー軸 109、肘関節ピッチ軸 110、前腕ヨー軸 111、手首関節ピッチ軸 112、手首関節ロール軸 113 の各々を表現する肩関節ピッチ軸アクチュエータ A₈、肩関節ロール軸アクチュエータ A₉、上腕ヨー軸アクチュエータ A₁₀、肘関節ピッチ軸アクチュエータ A₁₁、肘関節ロール軸アクチュエータ A₁₂、手首関節ピッチ軸アクチュエータ A₁₃、手首関節ロール軸アクチュエータ A₁₄ が配備されている。

また、脚部ユニット 5 R/L は、大腿部ユニット 5₁R/L と、膝ユニット 5₂R/L と、脛部ユニット 5₃R/L に細分化されるが、股関節ヨー軸 115、股関節ピッチ軸 116、股関節ロール軸 117、膝関節ピッチ軸 118、足首関節ピッチ軸 119、足首関節ロール軸 120 の各々を表現する股関節ヨー軸アクチュエ

ータ A_{16} 、股関節ピッチ軸アクチュエータ A_{17} 、股関節ロール軸アクチュエータ A_{18} 、膝関節ピッチ軸アクチュエータ A_{19} 、足首関節ピッチ軸アクチュエータ A_{20} 、足首関節ロール軸アクチュエータ A_{21} が配備されている。各関節に用いられるアクチュエータ A_2 、 A_3 ・・・は、より好ましくは、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニット内に搭載したタイプの小型ACサーボ・アクチュエータで構成することができる。

体幹部ユニット2、頭部ユニット3、各腕部ユニット4R/L、各脚部ユニット5R/Lなどの各機構ユニット毎に、アクチュエータ駆動制御部の副制御部20、21、22R/L、23R/Lが配備されている。さらに、各脚部ユニット5R/Lの足底が着床したか否かを検出する接地確認センサ30R/Lを装着するとともに、体幹部ユニット2内には、姿勢を計測する姿勢センサ31を装備している。

接地確認センサ30R/Lは、例えば足底に設置された近接センサ又はマイクロ・スイッチなどで構成される。また、姿勢センサ31は、例えば、加速度センサとジャイロ・センサの組み合わせによって構成される。

接地確認センサ30R/Lの出力によって、歩行・走行などの動作期間中ににおいて、左右の各脚部が現在立脚又は遊脚何れの状態であるかを判別することができる。また、姿勢センサ31の出力により、体幹部分の傾きや姿勢を検出することができる。

主制御部11は、各センサ30R/L、31の出力に応答して制御目標をダイナミックに補正することができる。より具体的には、副制御部20、21、22R/L、23R/Lの各々に対して適応的な制御を行い、ロボット装置1の上肢、体幹、及び下肢が協調して駆動する全身運動パターンを実現できる。

ロボット装置1の機体上での全身運動は、足部運動、ZMP (Zero Moment Point) 軌道、体幹運動、上肢運動、腰部高さなどを設定するとともに、これらの設定内容にしたがった動作を指示するコマンドを各副制御部20、21、22R/L、23R/Lに転送する。そして、各々の副制御部20、21、・・・等では、主制御部11からの受信コマンドを解釈して、各アクチュエータ A_2 、 A_3 ・・・等に対して駆動制御信号を出力する。ここでいう「ZMP」とは、歩行中の床反力

によるモーメントがゼロとなる床面上の点のことであり、また、「ZMP軌道」とは、例えばロボット装置1の歩行動作期間中にZMPが動く軌跡を意味する。なお、ZMPの概念並びにZMPを歩行ロボットの安定度判別規範に適用する点については、Miomir Vukobratovic著“LEGGED LOCOMOTION ROBOTS”（加藤一郎外著『歩行ロボットと人工の足』（日刊工業新聞社））に記載されている。

以上のように、ロボット装置1は、各々の副制御部20, 21, ...等が、主制御部11からの受信コマンドを解釈して、各アクチュエータ A_2, A_3, \dots に対して駆動制御信号を出力し、各ユニットの駆動を制御している。これにより、ロボット装置1は、目標の姿勢に安定して遷移し、安定した姿勢で歩行できる。

また、ロボット装置1における制御ユニット10では、上述したような姿勢制御のほかに、加速度センサ、タッチセンサ、接地確認センサ等の各種センサ、及びCCDカメラからの画像情報、マイクからの音声情報等を統括して処理している。制御ユニット10では、図示しないが加速度センサ、ジャイロ・センサ、タッチセンサ、距離センサ、マイク、スピーカなどの各種センサ、各アクチュエータ、CCDカメラ及びバッテリーが各々対応するハブを介して主制御部11と接続されている。

主制御部11は、上述の各センサから供給されるセンサデータや画像データ及び音声データを順次取り込み、これらをそれぞれ内部インターフェイスを介してDRAM内の所定位置に順次格納する。また、主制御部11は、バッテリーから供給されるバッテリー残量を表すバッテリー残量データを順次取り込み、これをDRAM内の所定位置に格納する。DRAMに格納された各センサデータ、画像データ、音声データ及びバッテリー残量データは、主制御部11がこのロボット装置1の動作制御を行う際に利用される。

主制御部11は、ロボット装置1の電源が投入された初期時、制御プログラムを読み出し、これをDRAMに格納する。また、主制御部11は、上述のように主制御部11よりDRAMに順次格納される各センサデータ、画像データ、音声データ及びバッテリー残量データに基づいて自己及び周囲の状況や、ユーザからの指示及び働きかけの有無などを判断する。

さらに、主制御部11は、この判断結果及びDRAMに格納した制御プログラ

ムに基づいて自己の状況に応じて行動を決定するとともに、当該決定結果に基づいて必要なアクチュエータを駆動させることによりロボット装置 1 に、いわゆる「身振り」、「手振り」といった行動をとらせる。

このようにしてロボット装置 1 は、制御プログラムに基づいて自己及び周囲の状況を判断し、ユーザからの指示及び働きかけに応じて自律的に行動できる。

ところで、このロボット装置 1 は、内部状態に応じて自律的に行動することができる。上述の図 4、図 20 及び図 21 に示したソフトウェアは、主にロボット装置 1 が自律的に経路を生成するためのものである。以下では、ロボット装置 1 における制御プログラム全体のソフトウェア構成例について、図 24 乃至図 29 を用いて説明する。なお、この制御プログラムは、予め、ロボット装置 1 内に設けられたフラッシュ R O M に格納されており、ロボット装置 1 の電源投入初期時において読み出される。

図 24 において、デバイス・ドライバ・レイヤ 40 は、制御プログラムの最下位層に位置し、複数のデバイス・ドライバからなるデバイス・ドライバ・セット 41 から構成されている。この場合、各デバイス・ドライバは、C C D カメラやタイマ等の通常のコンピュータで用いられるハードウェアに直接アクセスすることを許されたオブジェクトであり、対応するハードウェアからの割り込みを受けて処理を行う。

また、ロボティック・サーバ・オブジェクト 42 は、デバイス・ドライバ・レイヤ 40 の最下位層に位置し、例えば上述の各種センサやアクチュエータ 28₁〜28_n等のハードウェアにアクセスするためのインターフェイスを提供するソフトウェア群でなるバーチャル・ロボット 43 と、電源の切換えなどを管理するソフトウェア群でなるパワーマネージャ 44 と、他の種々のデバイス・ドライバを管理するソフトウェア群でなるデバイス・ドライバ・マネージャ 45 と、ロボット装置 1 の機構を管理するソフトウェア群でなるデザインド・ロボット 46 とから構成されている。

マネージャ・オブジェクト 47 は、オブジェクト・マネージャ 48 及びサービス・マネージャ 49 から構成されている。オブジェクト・マネージャ 48 は、ロボティック・サーバ・オブジェクト 42、ミドル・ウェア・レイヤ 50、及びア

アプリケーション・レイヤ 51 に含まれる各ソフトウェア群の起動や終了を管理するソフトウェア群であり、サービス・マネージャ 49 は、メモリカードに格納されたコネクションファイルに記述されている各オブジェクト間の接続情報に基づいて各オブジェクトの接続を管理するソフトウェア群である。

ミドル・ウェア・レイヤ 50 は、ロボティック・サーバ・オブジェクト 42 の上位層に位置し、画像処理や音声処理などのこのロボット装置 1 の基本的な機能を提供するソフトウェア群から構成されている。また、アプリケーション・レイヤ 51 は、ミドル・ウェア・レイヤ 50 の上位層に位置し、当該ミドル・ウェア・レイヤ 50 を構成する各ソフトウェア群によって処理された処理結果に基づいてロボット装置 1 の行動を決定するためのソフトウェア群から構成されている。

なお、ミドル・ウェア・レイヤ 50 及びアプリケーション・レイヤ 51 の具体的なソフトウェア構成をそれぞれ図 25 に示す。

ミドル・ウェア・レイヤ 50 は、図 25 に示すように、騒音検出用、温度検出用、明るさ検出用、音階認識用、距離検出用、姿勢検出用、タッチセンサ用、動き検出用及び色認識用の各信号処理モジュール 60～68 並びに入力セマンティクスコンバータモジュール 69 などを有する認識系 70 と、出力セマンティクスコンバータモジュール 78 並びに姿勢管理用、トラッキング用、モーション再生用、歩行用、転倒復帰用、LED 点灯用及び音再生用の各信号処理モジュール 71～77 などを有する出力系 79 とから構成されている。

認識系 70 の各信号処理モジュール 60～68 は、ロボティック・サーバ・オブジェクト 42 のバーチャル・ロボット 43 により DRAM から読み出される各センサデータや画像データ及び音声データのうちの対応するデータを取り込み、当該データに基づいて所定の処理を施して、処理結果を入力セマンティクスコンバータモジュール 69 に与える。ここで、例えば、バーチャル・ロボット 43 は、所定の通信規約によって、信号の授受或いは変換をする部分として構成されている。

入力セマンティクスコンバータモジュール 69 は、これら各信号処理モジュール 60～68 から与えられる処理結果に基づいて、「うるさい」、「暑い」、「明るい」、「ボールを検出した」、「転倒を検出した」、「撫でられた」、

「叩かれた」、「ドミソの音階が聞こえた」、「動く物体を検出した」又は「障害物を検出した」などの自己及び周囲の状況や、ユーザからの指令及び働きかけを認識し、認識結果をアプリケーション・レイヤ41に出力する。

アプリケーション・レイヤ51は、図26に示すように、行動モデルライブラリ80、行動切換モジュール81、学習モジュール82、感情モデル83及び本能モデル84の5つのモジュールから構成されている。

行動モデルライブラリ80には、図27に示すように、「バッテリー残量が少なくなった場合」、「転倒復帰する」、「障害物を回避する場合」、「感情を表現する場合」、「ボールを検出した場合」などの予め選択されたいくつかの条件項目にそれぞれ対応させて、それぞれ独立した行動モデルが設けられている。

そして、これら行動モデルは、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール69から認識結果が与えられたときや、最後の認識結果が与えられてから一定時間が経過したときなどに、必要に応じて後述のように感情モデル83に保持されている対応する情動のパラメータ値や、本能モデル84に保持されている対応する欲求のパラメータ値を参照しながら続く行動をそれぞれ決定し、決定結果を行動切換モジュール81に出力する。

なお、この実施の形態の場合、各行動モデルは、次の行動を決定する手法として、図28に示すような1つのノード（状態） $NODE_0 \sim NODE_n$ から他のどのノード $NODE_0 \sim NODE_n$ に遷移するかを各ノード $NODE_0 \sim NODE_n$ に間を接続するアーク $ARC_1 \sim ARC_n$ に対してそれぞれ設定された遷移確率 $P_1 \sim P_n$ に基づいて確率的に決定する有限確率オートマトンと呼ばれるアルゴリズムを用いる。

具体的に、各行動モデルは、それぞれ自己の行動モデルを形成するノード $NODE_0 \sim NODE_n$ にそれぞれ対応させて、これらノード $NODE_0 \sim NODE_n$ 毎に図29に示すような状態遷移表90を有している。

この状態遷移表90では、そのノード $NODE_0 \sim NODE_n$ において遷移条件とする入力イベント（認識結果）が「入力イベント名」の列に優先順に列記され、その遷移条件についてのさらなる条件が「データ名」及び「データ範囲」の列における対応する行に記述されている。

したがって、図29の状態遷移表90で表されるノードN O D E₁₀₀では、「ボールを検出 (B A L L)」という認識結果が与えられた場合に、当該認識結果とともに与えられるそのボールの「大きさ (S I Z E)」が「0から1000」の範囲であることや、「障害物を検出 (O B S T A C L E)」という認識結果が与えられた場合に、当該認識結果とともに与えられるその障害物までの「距離 (D I S T A N C E)」が「0から100」の範囲であることが他のノードに遷移するための条件となっている。

また、このノードN O D E₁₀₀では、認識結果の入力がない場合においても、行動モデルが周期的に参照する感情モデル83及び本能モデル84にそれぞれ保持された各情動及び各欲求のパラメータ値のうち、感情モデル83に保持された「喜び (J o y)」、「驚き (S u r p r i s e)」又は「悲しみ (S a d n e s s)」の何れかのパラメータ値が「50から100」の範囲であるときには他のノードに遷移することができるようになっている。

また、状態遷移表90では、「他のノードへの遷移確率」の欄における「遷移・先ノード」の行にそのノードN O D E₀～N O D E_nから遷移できるノード名が列記されているとともに、「入力イベント名」、「データ名」及び「データの範囲」の列に記述された全ての条件が揃ったときに遷移できる他の各ノードN O D E₀～N O D E_nへの遷移確率が「他のノードへの遷移確率」の欄内の対応する箇所にそれぞれ記述され、そのノードN O D E₀～N O D E_nに遷移する際に出力すべき行動が「他のノードへの遷移確率」の欄における「出力行動」の行に記述されている。なお、「他のノードへの遷移確率」の欄における各行の確率の和は100 [%]となっている。

したがって、図29の状態遷移表90で表されるノードN O D E₁₀₀では、例えば「ボールを検出 (B A L L)」し、そのボールの「S I Z E (大きさ)」が「0から1000」の範囲であるという認識結果が与えられた場合には、「30 [%]」の確率で「ノードN O D E₁₂₀ (node 120)」に遷移でき、そのとき「A C T I O N 1」の行動が出力されることとなる。

各行動モデルは、それぞれこのような状態遷移表90として記述されたノードN O D E₀～N O D E_nが幾つも繋がるようにして構成されており、入力セマンティクスコンバータモジュール69から認識結果が与えられたときなどに、対応す

るノードN O D E₀～N O D E_nの状態遷移表を利用して確率的に次の行動を決定し、決定結果を行動切換モジュール81に出力するようになされている。

図27に示す行動切換モジュール81は、行動モデルライブラリ80の各行動モデルからそれぞれ出力される行動のうち、予め定められた優先順位の高い行動モデルから出力された行動を選択し、当該行動を実行すべき旨のコマンド（以下、行動コマンドという。）をミドル・ウェア・レイヤ50の出力セマンティクスコンバータモジュール78に送出する。なお、この実施の形態においては、図27において下側に表記された行動モデルほど優先順位が高く設定されている。

また、行動切換モジュール81は、行動完了後に出力セマンティクスコンバータモジュール78から与えられる行動完了情報に基づいて、その行動が完了したことを学習モジュール82、感情モデル83及び本能モデル84に通知する。

一方、学習モジュール82は、入力セマンティクスコンバータモジュール69から与えられる認識結果のうち、「叩かれた」や「撫でられた」など、ユーザからの働きかけとして受けた教示の認識結果を入力する。

そして、学習モジュール82は、この認識結果及び行動切換えモジュール71からの通知に基づいて、「叩かれた（叱られた）」ときにはその行動の発現確率を低下させ、「撫でられた（誉められた）」ときにはその行動の発現確率を上昇させるように、行動モデルライブラリ70における対応する行動モデルの対応する遷移確率を変更する。

他方、感情モデル83は、「喜び（Joy）」、「悲しみ（Sadness）」、「怒り（Anger）」、「驚き（Surprise）」、「嫌悪（Disgust）」及び「恐れ（Fear）」の合計6つの情動について、各情動毎にその情動の強さを表すパラメータを保持している。そして、感情モデル83は、これら各情動のパラメータ値を、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール69から与えられる「叩かれた」及び「撫でられた」などの特定の認識結果や、経過時間及び行動切換モジュール81からの通知などに基づいて周期的に更新する。

具体的には、感情モデル83は、入力セマンティクスコンバータモジュール69から与えられる認識結果と、そのときのロボット装置1の行動と、前回更新しからの経過時間となどに基づいて所定の演算式により算出されるそのときのそ

の情動の変動量を $\Delta E[t]$ 、現在のその情動のパラメータ値を $E[t]$ 、その情動の感度を表す係数を k_e として、下記式(31)によって次の周期におけるその情動のパラメータ値 $E[t+1]$ を算出し、これを現在のその情動のパラメータ値 $E[t]$ と置き換えるようにしてその情動のパラメータ値を更新する。また、感情モデル83は、これと同様にして全ての情動のパラメータ値を更新する。

$$E[t+1] = E[t] + k_e \times \Delta E[t] \quad \dots (31)$$

なお、各認識結果や出力セマンティクスコンバータモジュール78からの通知が各情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ にどの程度の影響を与えるかは予め決められており、例えば「叩かれた」といった認識結果は「怒り」の情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ に大きな影響を与え、「撫でられた」といった認識結果は「喜び」の情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ に大きな影響を与えるようになっている。

ここで、出力セマンティクスコンバータモジュール78からの通知とは、いわゆる行動のフィードバック情報（行動完了情報）であり、行動の出現結果の情報であり、感情モデル83は、このような情報によっても感情を変化させる。これは、例えば、「叫ぶ」といった行動により怒りの感情レベルが下がるというようなことである。なお、出力セマンティクスコンバータモジュール78からの通知は、上述した学習モジュール82にも入力されており、学習モジュール82は、その通知に基づいて行動モデルの対応する遷移確率を変更する。

なお、行動結果のフィードバックは、行動切換モジュール81の出力（感情が付加された行動）によりなされるものであってもよい。

一方、本能モデル84は、「運動欲(exercise)」、「愛情欲(affection)」、「食欲(appetite)」及び「好奇心(curiosity)」の互いに独立した4つの欲求について、これら欲求毎にその欲求の強さを表すパラメータを保持している。そして、本能モデル84は、これらの欲求のパラメータ値を、それぞれ入力セマン

ティクスコンバータモジュール 6 9 から与えられる認識結果や、経過時間及び行動切換モジュール 8 1 からの通知などに基づいて周期的に更新する。

具体的には、本能モデル 8 4 は、「運動欲」、「愛情欲」及び「好奇心」については、認識結果、経過時間及び出力セマンティクスコンバータモジュール 7 8 からの通知などに基づいて所定の演算式により算出されるそのときのその欲求の変動量を $\Delta I[k]$ 、現在のその欲求のパラメータ値を $I[k]$ 、その欲求の感度を表す係数 k_i として、所定周期で下記式 (3 2) を用いて次の周期におけるその欲求のパラメータ値 $I[k+1]$ を算出し、この演算結果を現在のその欲求のパラメータ値 $I[k]$ と置き換えるようにしてその欲求のパラメータ値を更新する。また、本能モデル 8 4 は、これと同様にして「食欲」を除く各欲求のパラメータ値を更新する。

$$I[k+1] = I[k] + k_i \times \Delta I[k] \quad \dots (32)$$

なお、認識結果及び出力セマンティクスコンバータモジュール 7 8 からの通知などが各欲求のパラメータ値の変動量 $\Delta I[k]$ にどの程度の影響を与えるかは予め決められており、例えば出力セマンティクスコンバータモジュール 7 8 からの通知は、「疲れ」のパラメータ値の変動量 $\Delta I[k]$ に大きな影響を与えるようになっている。

なお、本実施の形態においては、各情動及び各欲求（本能）のパラメータ値がそれぞれ 0 から 100 までの範囲で変動するように規制されており、また係数 k_i 、 k_j の値も各情動及び各欲求毎に個別に設定されている。

一方、ミドル・ウェア・レイヤ 5 0 の出力セマンティクスコンバータモジュール 7 8 は、図 2 6 に示すように、上述のようにしてアプリケーション・レイヤ 5 1 の行動切換モジュール 8 1 から与えられる「前進」、「喜ぶ」、「鳴く」又は「トラッキング（ボールを追いかける）」といった抽象的な行動コマンドを出力系 7 9 の対応する信号処理モジュール 7 1 ～ 7 7 に与える。

そしてこれら信号処理モジュール 71～77 は、行動コマンドが与えられると当該行動コマンドに基づいて、その行動をするために対応するアクチュエータに与えるべきサーボ指令値や、スピーカから出力する音の音声データ及び又は LED に与える駆動データを生成し、これらのデータをロボティック・サーバ・オブジェクト 42 のバーチャル・ロボット 43 及び信号処理回路を順次介して対応するアクチュエータ又はスピーカ又は LED に順次送出する。

このようにしてロボット装置 1 は、上述した制御プログラムに基づいて、自己（内部）及び周囲（外部）の状況や、ユーザからの指示及び働きかけに応じた自律的な行動ができる。

このような制御プログラムは、ロボット装置 1 が読取可能な形式で記録された記録媒体を介して提供される。制御プログラムを記録する記録媒体としては、磁気読取方式の記録媒体（例えば、磁気テープ、フレキシブルディスク、磁気カード）、光学読取方式の記録媒体（例えば、CD-ROM、MO、CD-R、DVD）等が考えられる。記録媒体には、半導体メモリ（いわゆるメモリカード（矩形型、正方形型など形状は問わない。）、ICカード）等の記憶媒体も含まれる。また、制御プログラムは、いわゆるインターネット等を介して提供されてもよい。

これらの制御プログラムは、専用の読込ドライバ装置、又はパーソナルコンピュータ等を介して再生され、有線又は無線接続によってロボット装置 1 に伝送されて読み込まれる。また、ロボット装置 1 は、半導体メモリ、又は IC カード等の小型化された記憶媒体のドライブ装置を備える場合、これら記憶媒体から制御プログラムを直接読み込むこともできる。

なお、本発明は、図面を参照して説明した上述の実施例に限定されるものではなく、添付の請求の範囲及びその主旨を逸脱することなく、様々な変更、置換又はその同等のものを行うことができることは当業者にとって明らかである。

産業上の利用可能性

上述した本発明によれば、環境内の全てのランドマークを認識しなくても、ある程度の情報から現在の環境を同定することができ、更に、全ての環境を一つの

環境地図モデルで表現する手法に比べて、環境を一意に特定可能である範囲とし、これらの環境地図を記憶することにより、一つ一つの環境地図のデータ量が小さくてよいと共に、物理的に離れた場所にある場所 A と場所 B とを異なる環境地図として記憶することにより、場所の相対的な位置関係を関知する必要がない。

請求の範囲

1. 1以上のランドマークが配置された環境内を移動するロボット装置であって、
上記1以上のランドマークの観測結果及び上記ロボット装置の移動状態量に基づき、1以上のランドマークの配置又は数により一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築手段と、
上記環境地図が登録済環境地図として複数記憶された環境地図記憶手段と、
上記環境地図記憶手段に記憶されている上記登録済環境地図と、上記環境地図構築手段により構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定手段と
を有することを特徴とするロボット装置。
2. 1以上のランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する環境同定装置であって、
上記1以上のランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、
1以上のランドマークの配置又は数により一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築手段と、
上記環境地図が登録済環境地図として複数記憶された環境地図記憶手段と、
上記環境地図記憶手段に記憶されている上記登録済環境地図と、上記環境地図構築手段により構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定手段と
を有することを特徴とする環境同定装置。
3. 請求の範囲第2項記載の環境同定装置であって、
上記登録済環境地図は、上記環境地図構築手段により構築された環境地図である
ことを特徴とする環境同定装置。
4. 請求の範囲第2項記載の環境同定装置であって、
上記環境地図は、上記ランドマークの位置情報を有し、上記環境地図記憶手段は、上記環境地図と共に該環境を識別する環境識別情報を記憶する
ことを特徴とする環境同定装置。

5. 請求の範囲第4項記載の環境同定装置であって、

上記環境同定手段は、上記現在の環境地図と上記登録済環境地図との類似度を算出し、該類似度に基づき現在の環境を同定する

ことを特徴とする環境同定装置。

6. 請求の範囲第5項記載の環境同定装置であって、

上記環境同定手段は、上記現在の環境地図と上記登録済環境地図との類似度が所定の閾値以上であるとき、上記現在の環境を当該登録済環境地図が示す環境であると同定して該登録済環境地図の上記環境識別情報を出力する

ことを特徴とする環境同定装置。

7. 請求の範囲第5項記載の環境同定装置であって、

上記環境同定手段は、上記現在の環境地図と上記登録済環境地図との類似度が所定の閾値未満であるとき、該現在の環境地図を上記環境地図記憶手段に追加する追加手段を有する

ことを特徴とする環境同定装置。

8. 請求の範囲第2項記載の環境同定装置であって、

上記一意に特定可能な環境内を探索する探索手段を有する

ことを特徴とする請求項2記載の環境同定装置。

9. 請求の範囲第8項記載の環境同定装置であって、

上記探索手段の上記環境内の探索を終了するよう制御する探索終了制御手段を有する

ことを特徴とする環境同定装置。

10. 請求の範囲第9項記載の環境同定装置であって、

上記探索終了制御手段は、上記一意に特定可能な環境内にて所定数のランドマークが観測されたとき、探索開始から所定期間経過したとき、又は上記移動体をコントロールする使用者により上記環境内の探索を終了するよう指示されたときに上記探索手段の探索を終了する

ことを特徴とする環境同定装置。

11. 請求の範囲第2項記載の環境同定装置であって、

上記一意に特定可能な環境は、所定数のランドマークを有する

ことを特徴とする環境同定装置。

12. 請求の範囲第2項記載の環境同定装置であって、

上記ランドマークは、上記一意に特定可能な環境内に一意に特定可能なものである

ことを特徴とする環境同定装置。

13. 請求の範囲第2項記載の環境同定装置であって、

上記ランドマークは、異なる形状及び／又は異なる色の複数の幾何学パターンが組み合わされたものである

ことを特徴とする環境同定装置。

14. 請求の範囲第13項記載の環境同定装置であって、

上記環境地図は、上記ランドマークの位置情報と共に上記ランドマークの方向を示す情報を有する

ことを特徴とする環境同定装置。

15. 請求の範囲第2項記載の環境同定装置であって、

上記移動体の移動状態量は、該移動体の姿勢方向及び位置を示すものである

ことを特徴とする環境同定装置。

16. 請求の範囲第2項記載の環境同定装置であって、

上記移動体は、供給された入力情報に基づいて動作を行う自律型のロボット装置である

ことを特徴とする環境同定装置。

17. 1以上のランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する環境同定方法であって、

上記1以上のランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、

1以上のランドマークの配置又は数により一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築工程と、

記憶手段に登録済環境地図として複数記憶された上記環境地図と、上記環境地図構築工程にて構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定工程と

を有することを特徴とする環境同定方法。

18．請求の範囲第17項記載の環境同定方法であって、

上記環境地図記構築工程にて構築された環境地図を上記登録済環境地図として
上記記憶手段に記憶する記憶工程を有する

ことを特徴とする環境同定方法。

19．請求の範囲第17項記載の環境同定方法であって、

上記環境地図は、上記ランドマークの位置情報を有し、上記記憶手段には、上
記環境地図と共に該環境を識別する環境識別情報が記憶されている

ことを特徴とする環境同定方法。

20．請求の範囲第19項記載の環境同定方法であって、

上記環境同定工程では、上記現在の環境地図と上記登録済環境地図との類似度
が算出され、該類似度に基づき現在の環境が同定される

ことを特徴とする環境同定方法。

21．請求の範囲第20項記載の環境同定方法であって、

上記環境同定工程では、上記現在の環境地図と上記登録済環境地図との類似度
が所定の閾値以上であるとき、上記現在の環境を当該登録済環境地図が示す環境
であると同定して該登録済環境地図の上記環境識別情報が出力される

ことを特徴とする環境同定方法。

22．請求の範囲第20項記載の環境同定方法であって、

上記環境同定工程では、上記現在の環境地図と上記登録済環境地図との類似度
が所定の閾値未満であるとき、該現在の環境地図が上記記憶手段に追加される

ことを特徴とする環境同定方法。

23．請求の範囲第17項記載の環境同定方法であって、

上記一意に特定可能な環境内を探索する探索工程を有する

ことを特徴とする環境同定方法。

24．請求の範囲第23項記載の環境同定方法であって、

上記探索工程では、上記一意に特定可能な環境内にて所定数のランドマークが
観測されたとき、探索開始から所定期間経過したとき、又は上記移動体をコント
ロールする使用者により上記環境内の探索を終了するよう指示されたときに探索
が終了される

ことを特徴とする環境同定方法。

25. 1以上のランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する動作をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

上記1以上のランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、
1以上のランドマークの配置又は数により一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築工程と、

記憶手段に登録済環境地図として複数記憶された上記環境地図と、上記環境地図構築工程にて構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定工程と

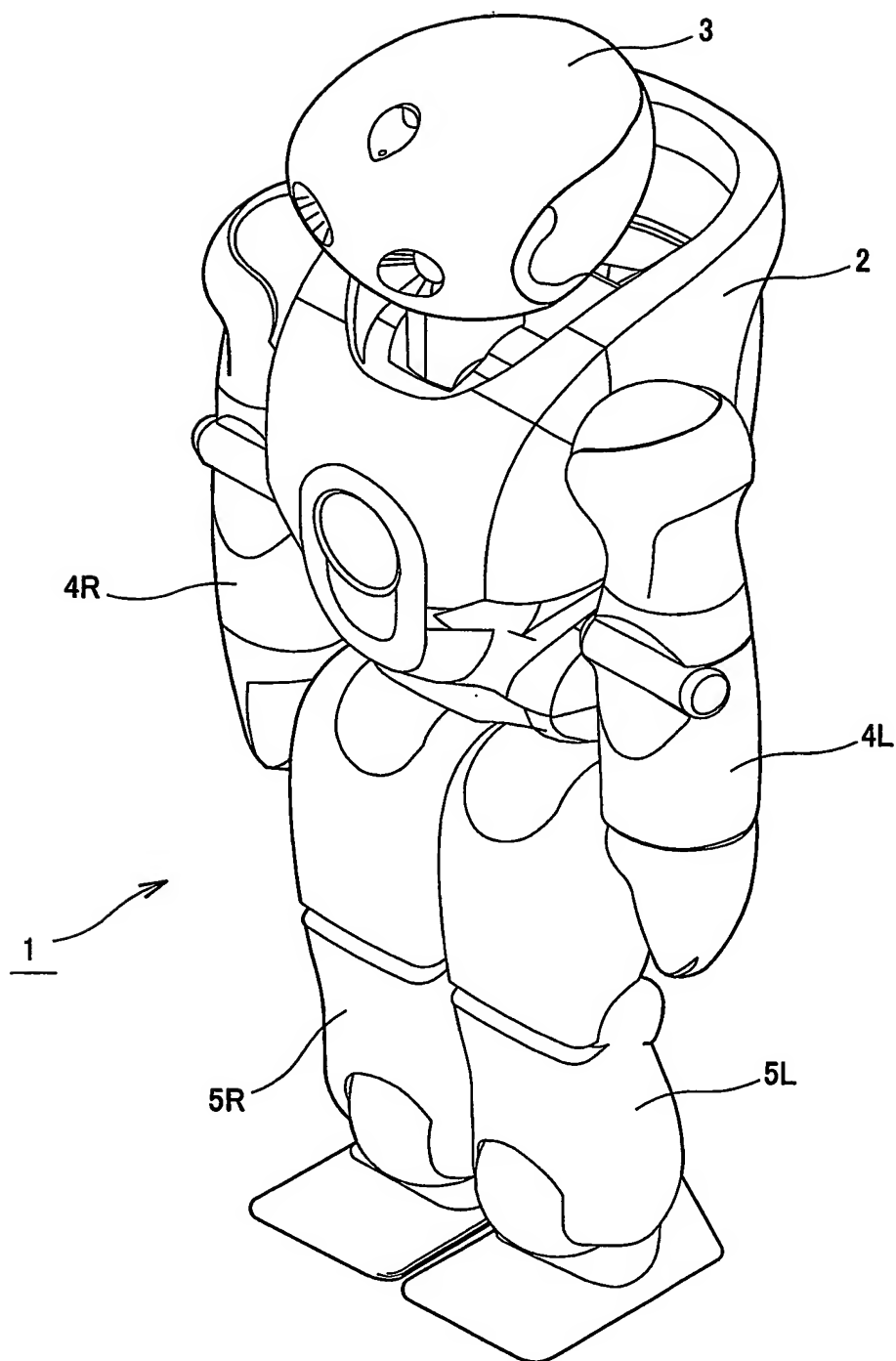
を有することを特徴とするプログラム。

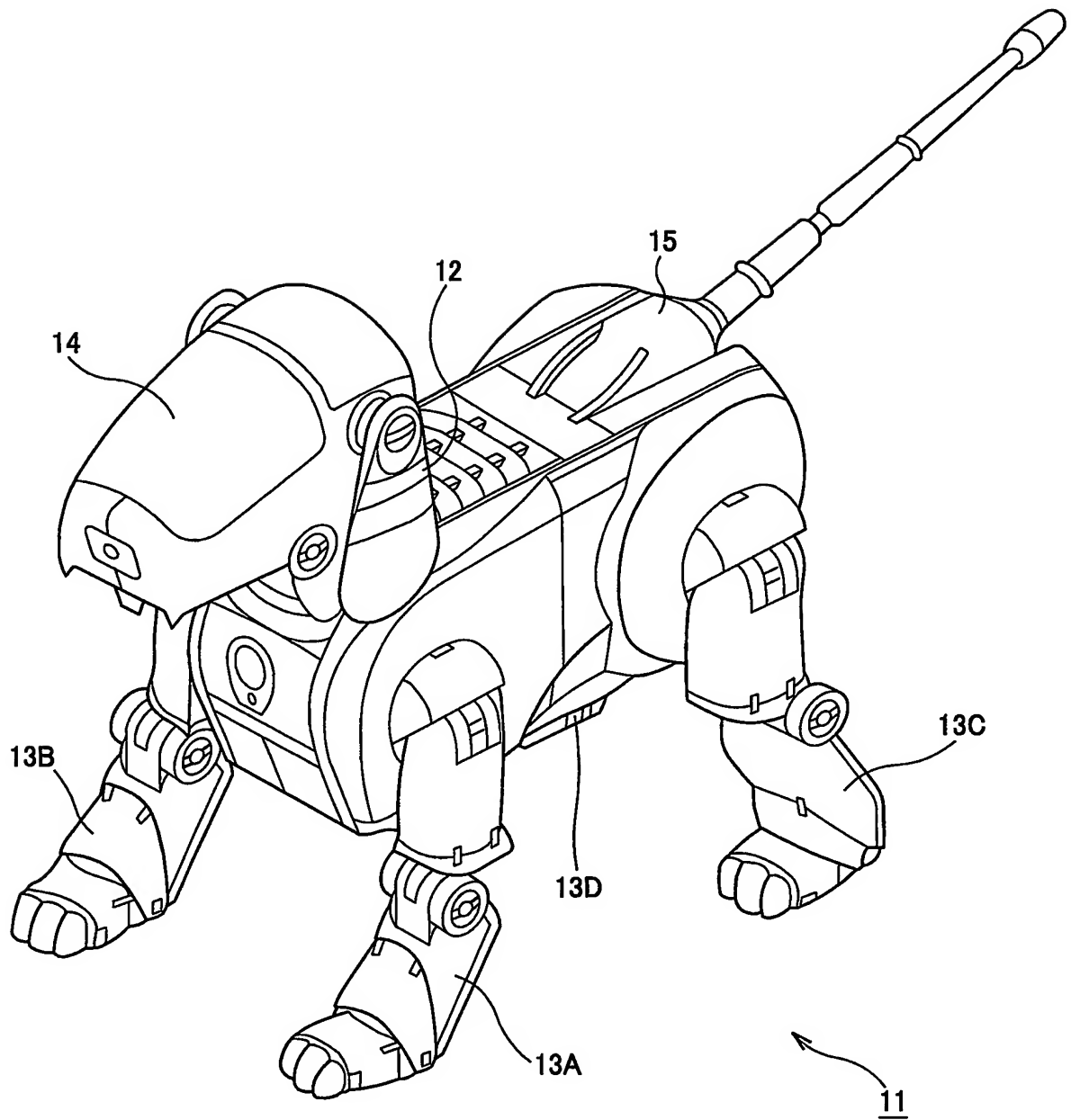
26. 1以上のランドマークが配置された環境内を移動体が移動して該環境を同定する動作をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

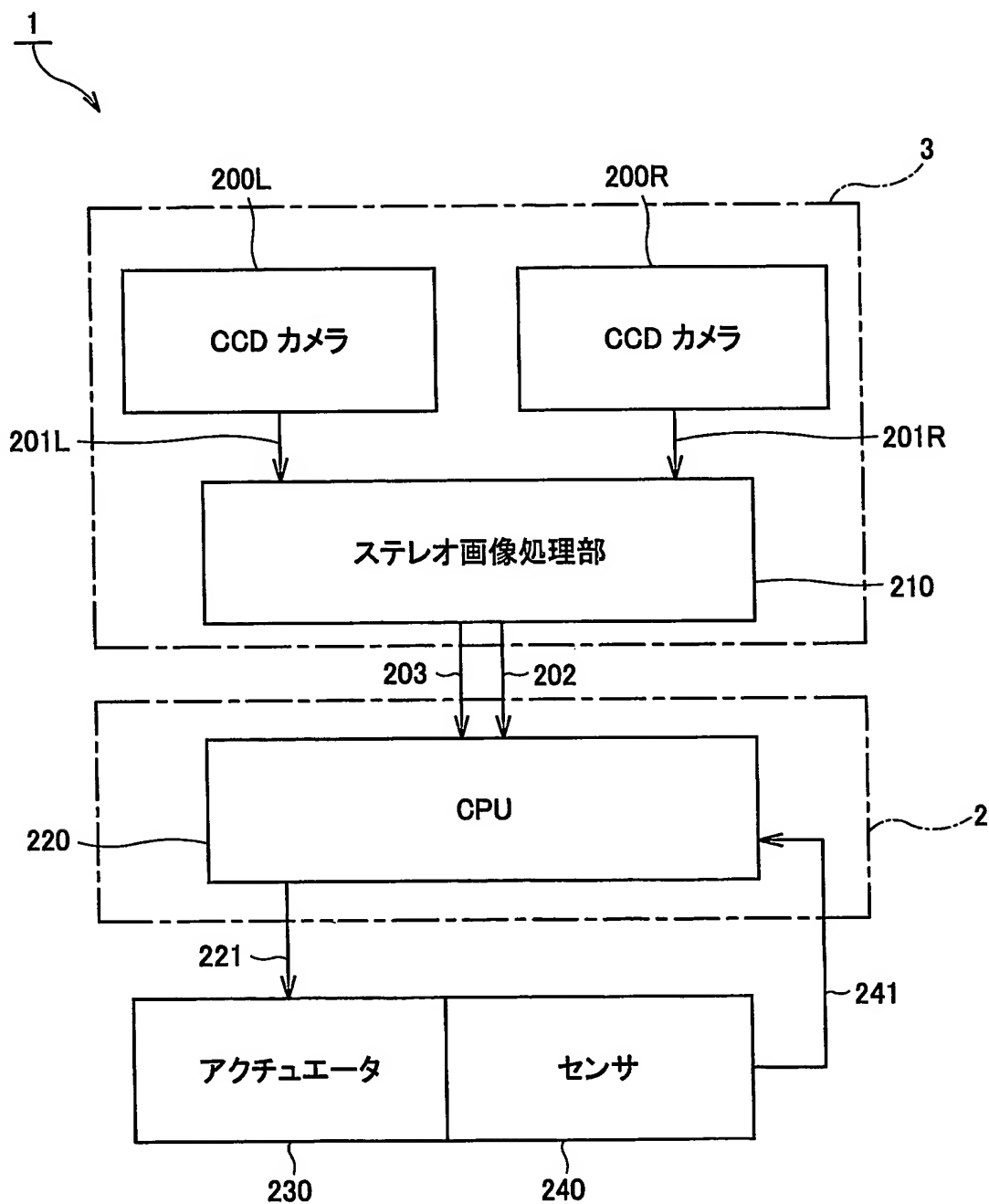
上記1以上のランドマークの観測結果及び上記移動体の移動状態量に基づき、
1以上のランドマークの配置又は数により一意に特定可能な環境の環境地図を構築する環境地図構築工程と、

記憶手段に登録済環境地図として複数記憶された上記環境地図と、上記環境地図構築工程にて構築された現在の環境地図とを比較して、上記現在の環境が上記登録済環境地図が示す環境であるか否かを判定する環境同定工程と

を有することを特徴とするプログラムを記録した記録媒体。

**FIG. 1**

**FIG. 2**

**FIG.3**

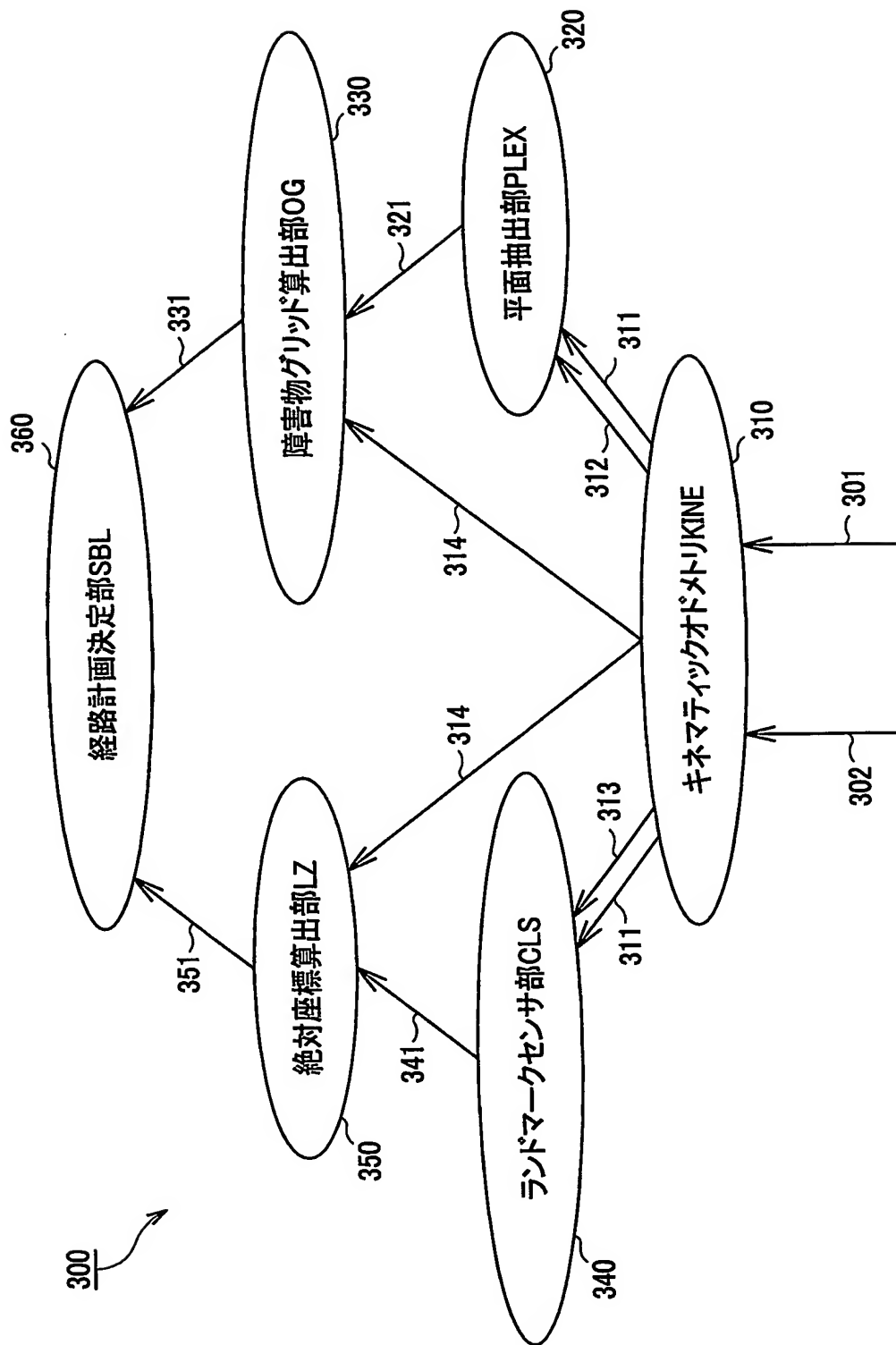


FIG.4

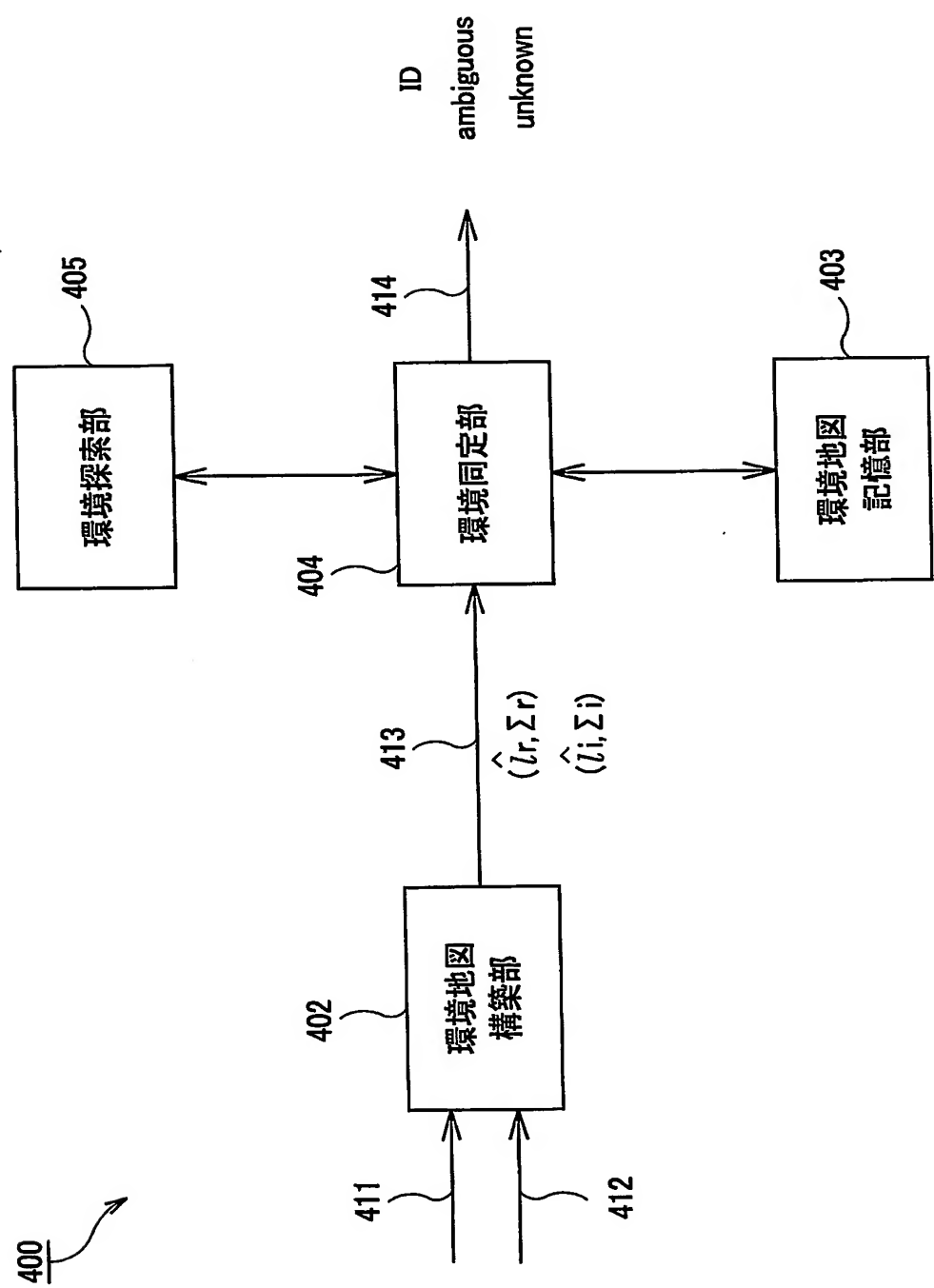


FIG.5

6/29

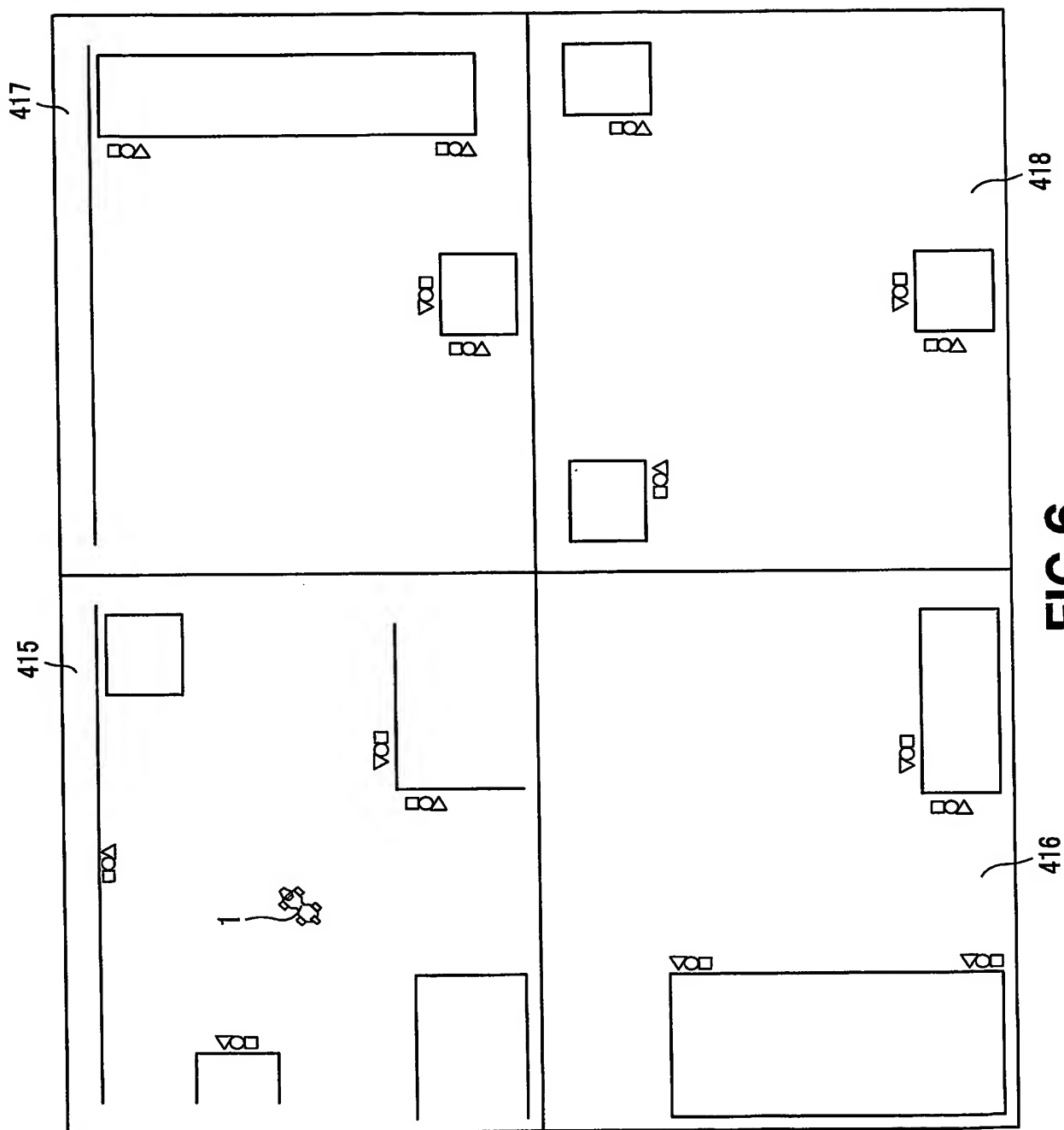


FIG. 6

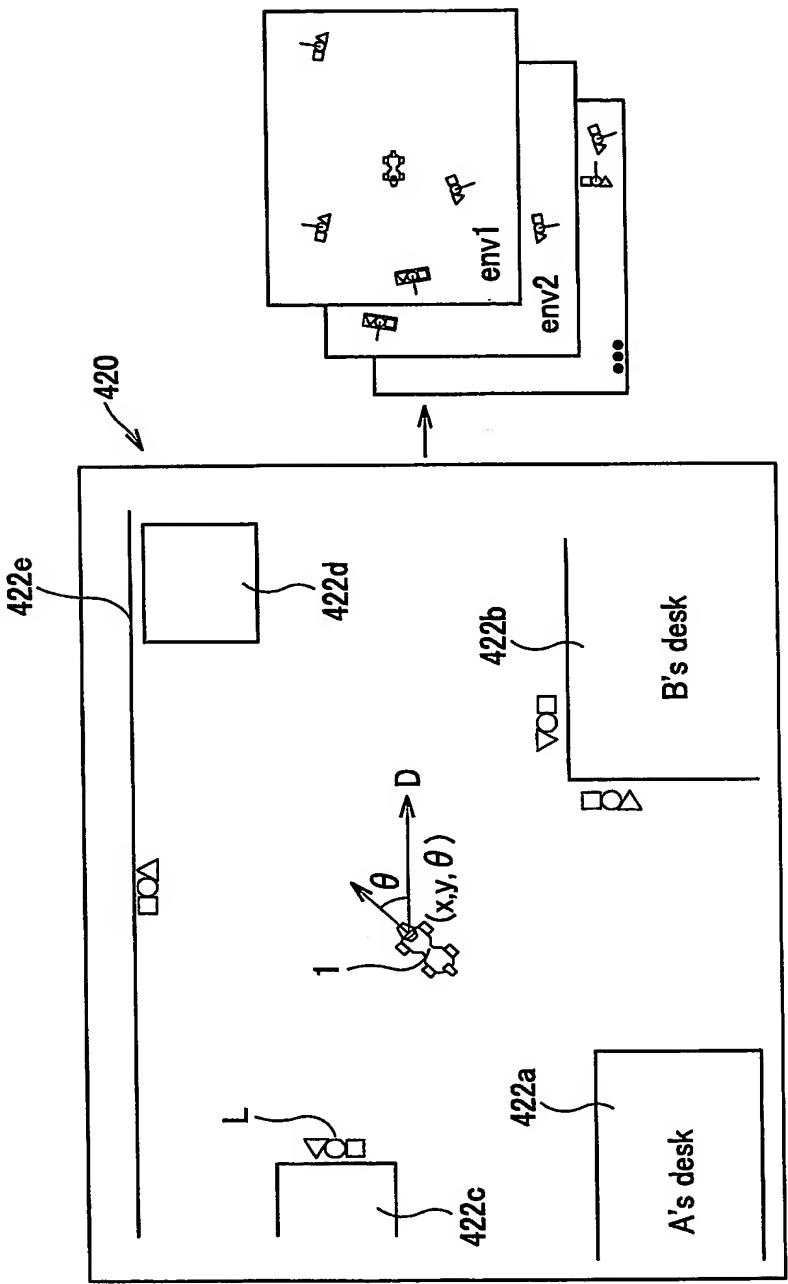


FIG. 7A

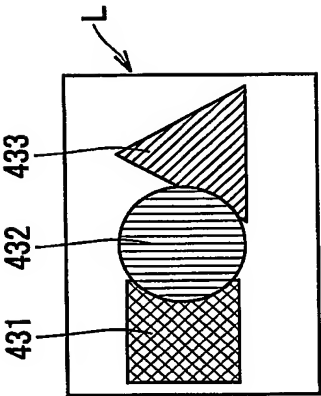


FIG. 7B

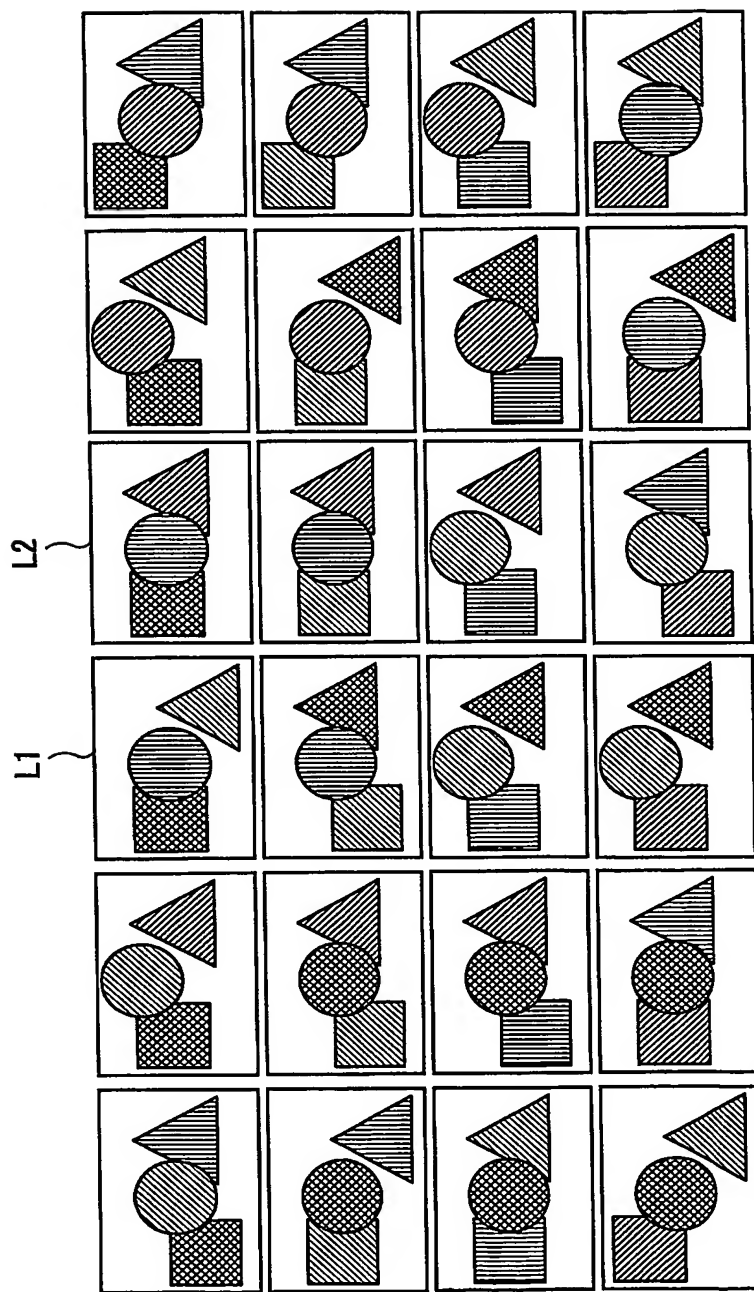


FIG.8

9/29

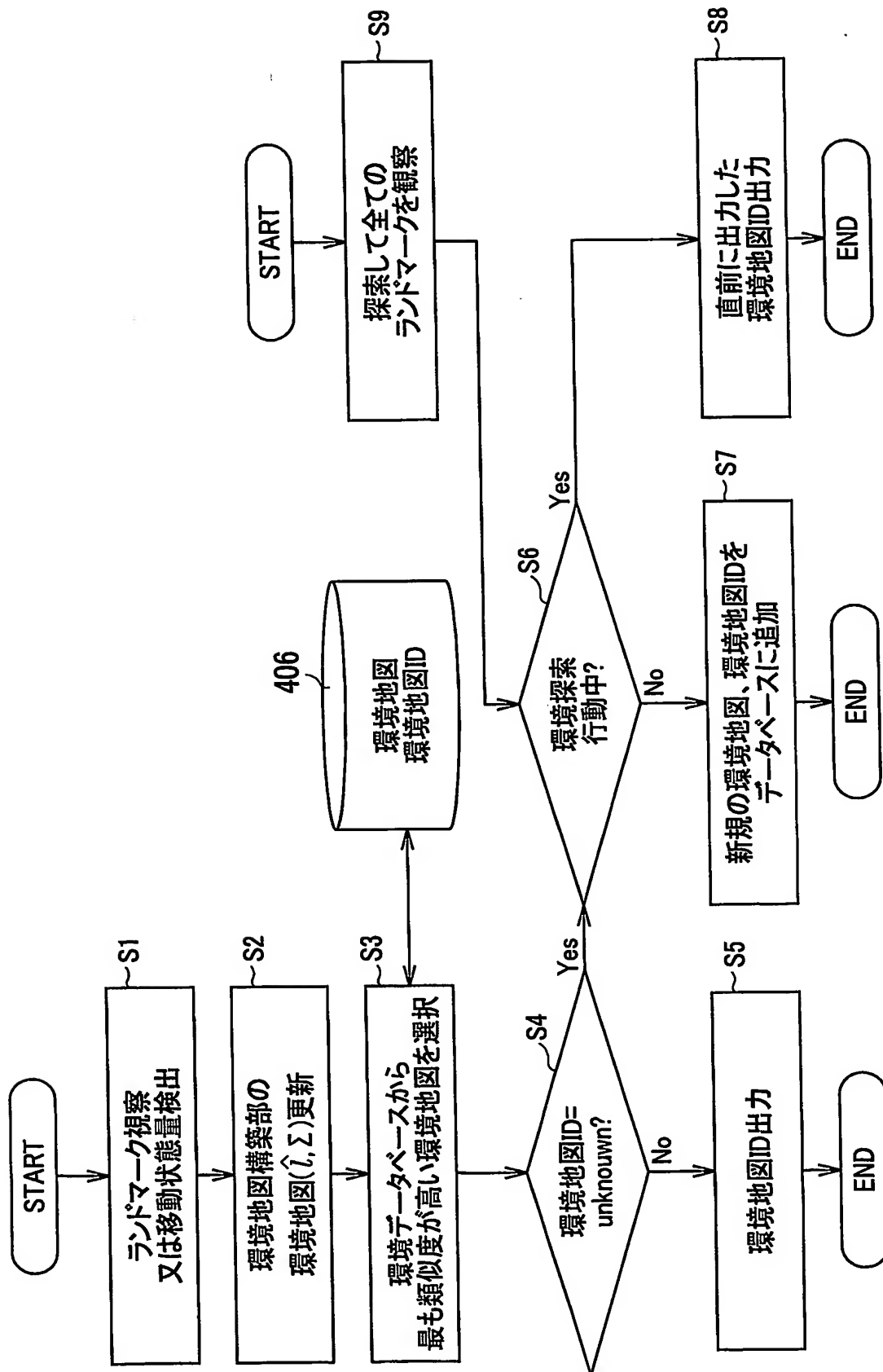


FIG. 9

10/29

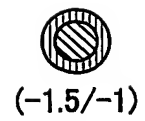
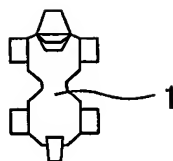
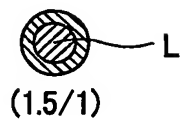
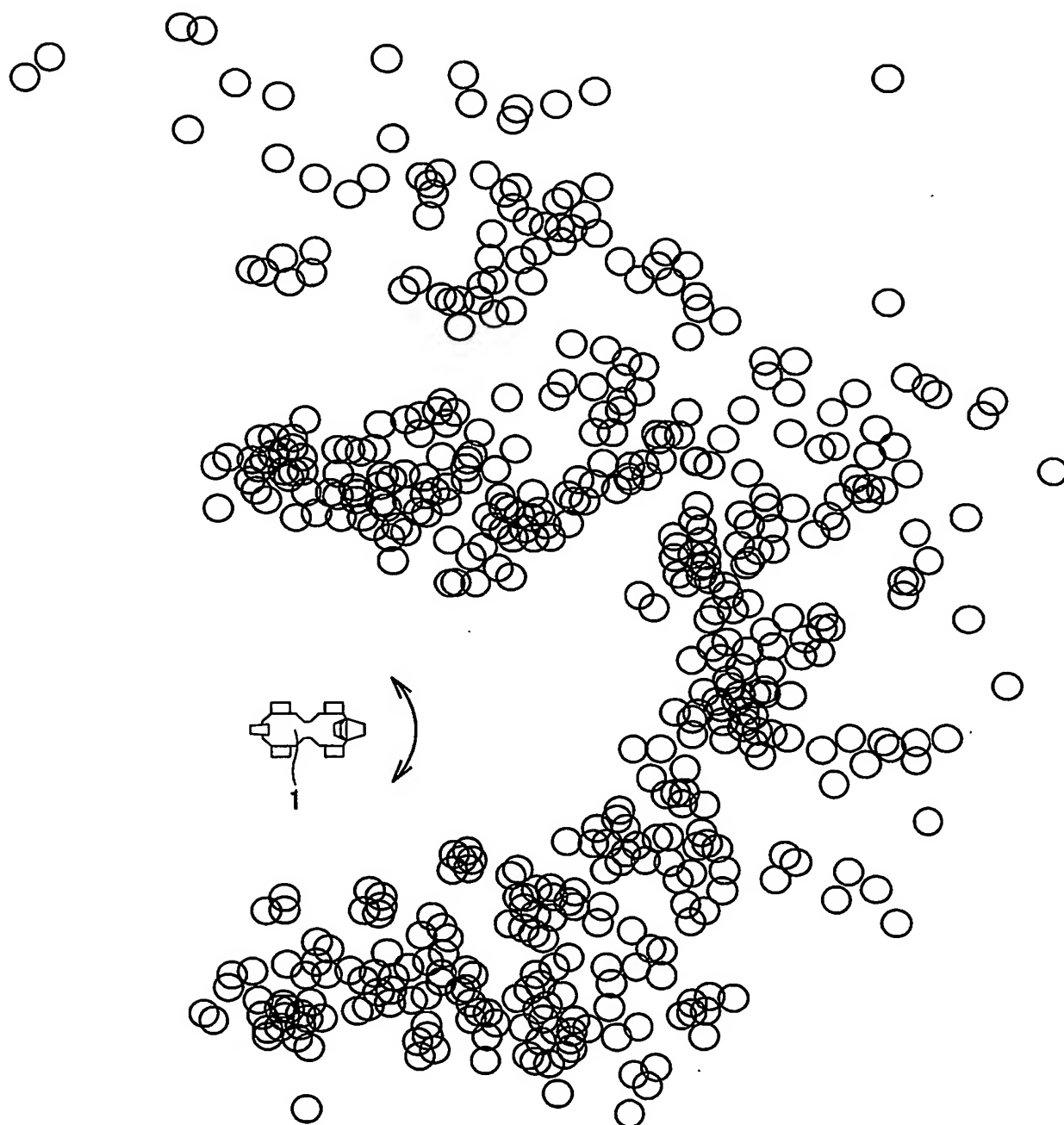


FIG. 10

11/29

**FIG. 11**

12/29

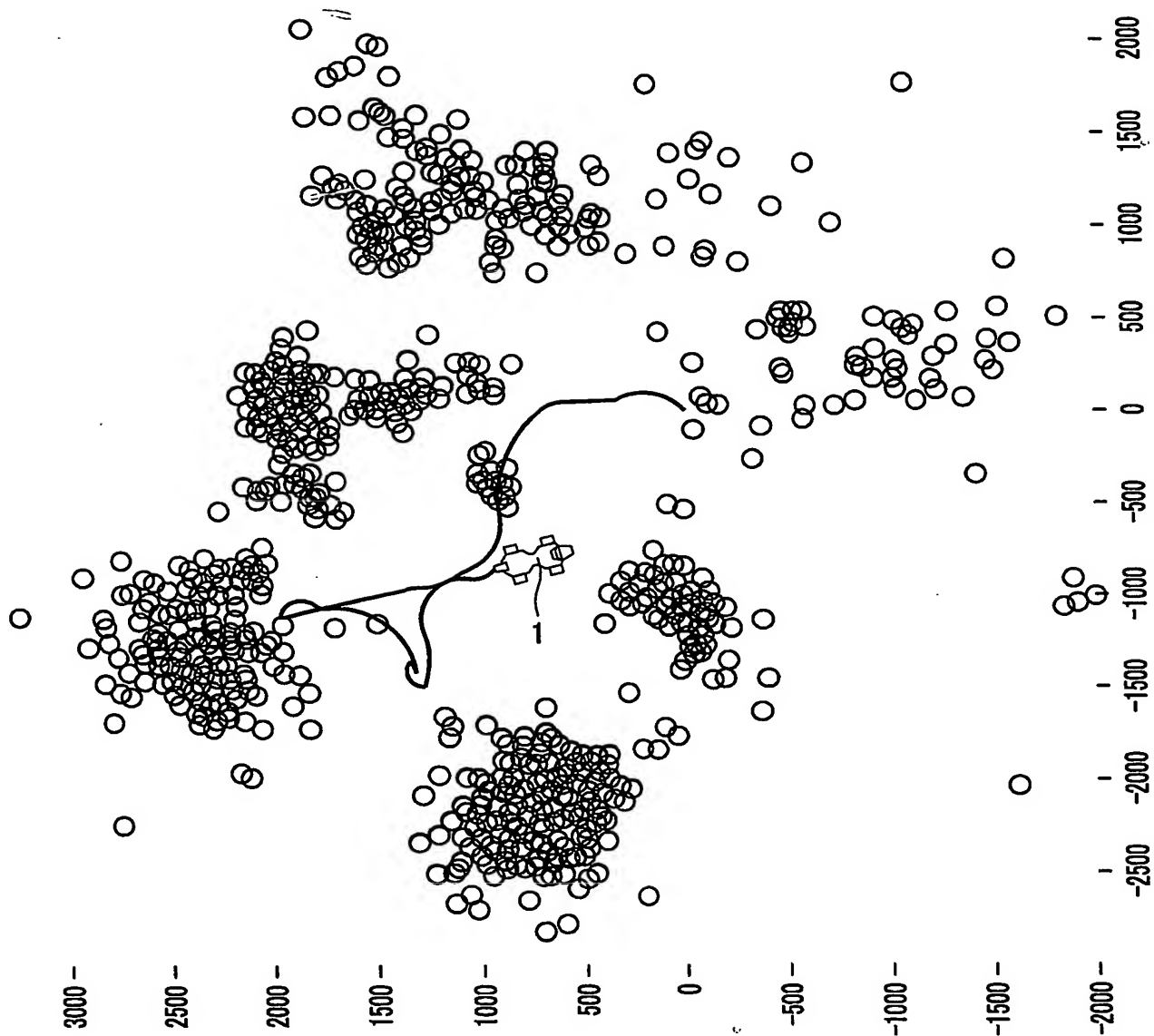


FIG.12

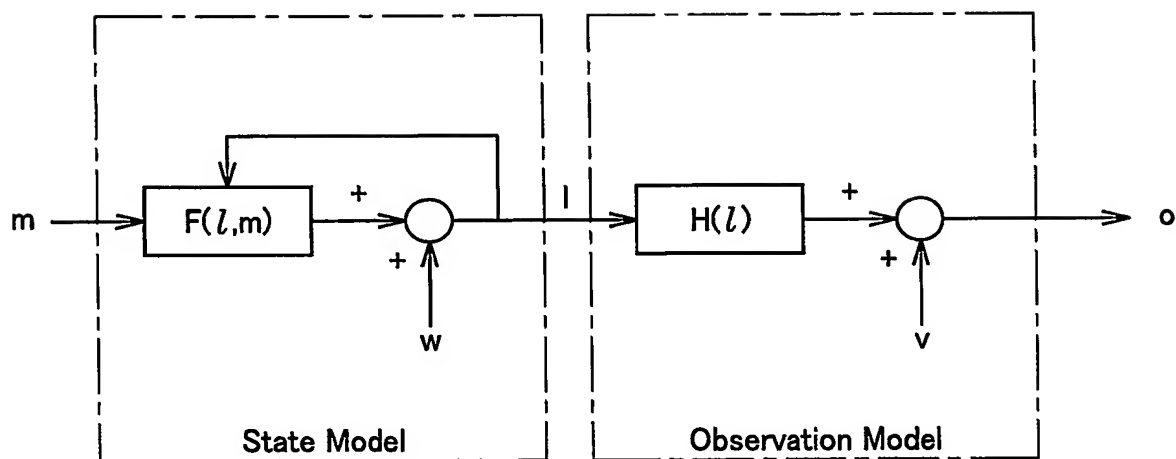


FIG. 13

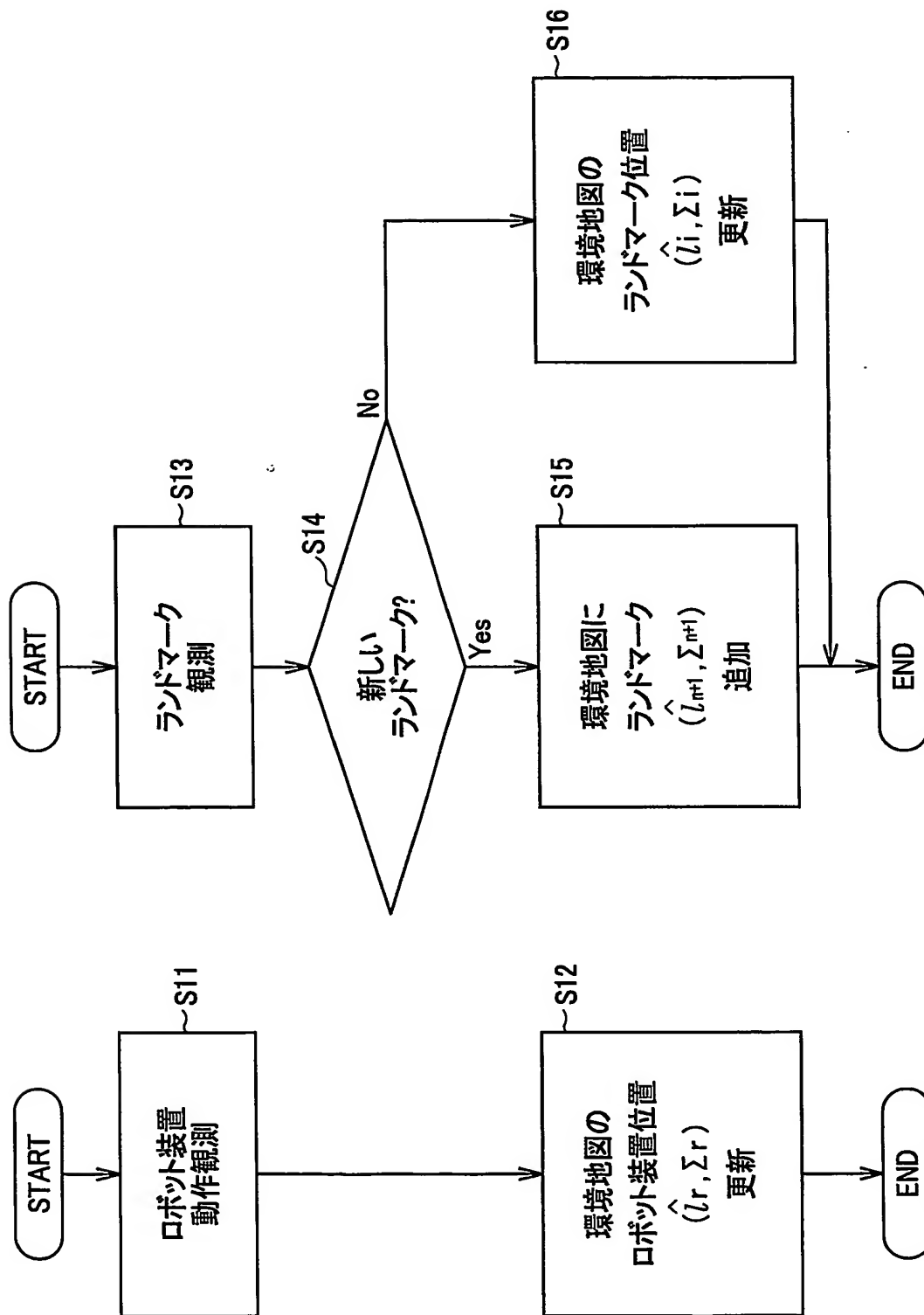


FIG. 14B

FIG. 14A

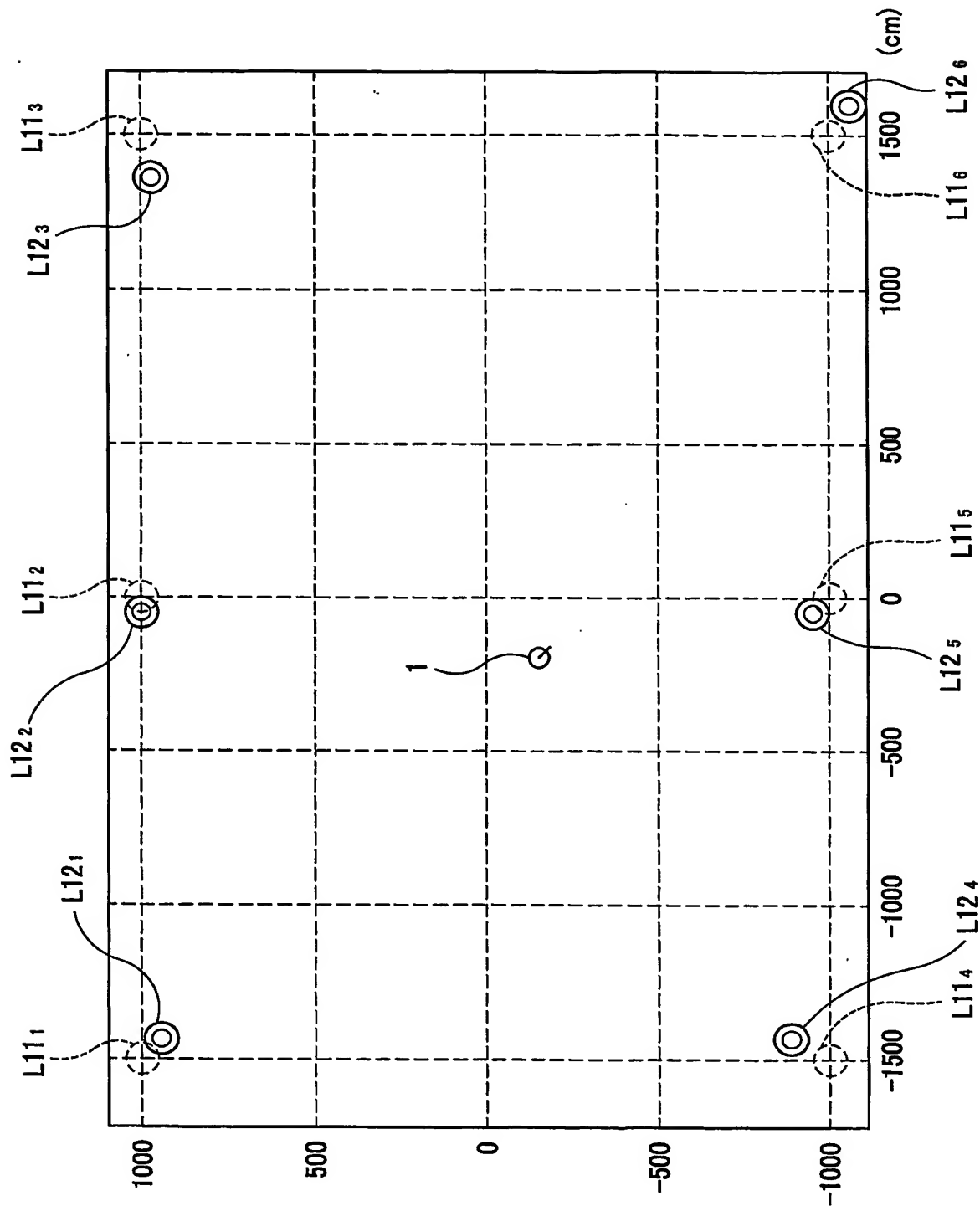


FIG.15

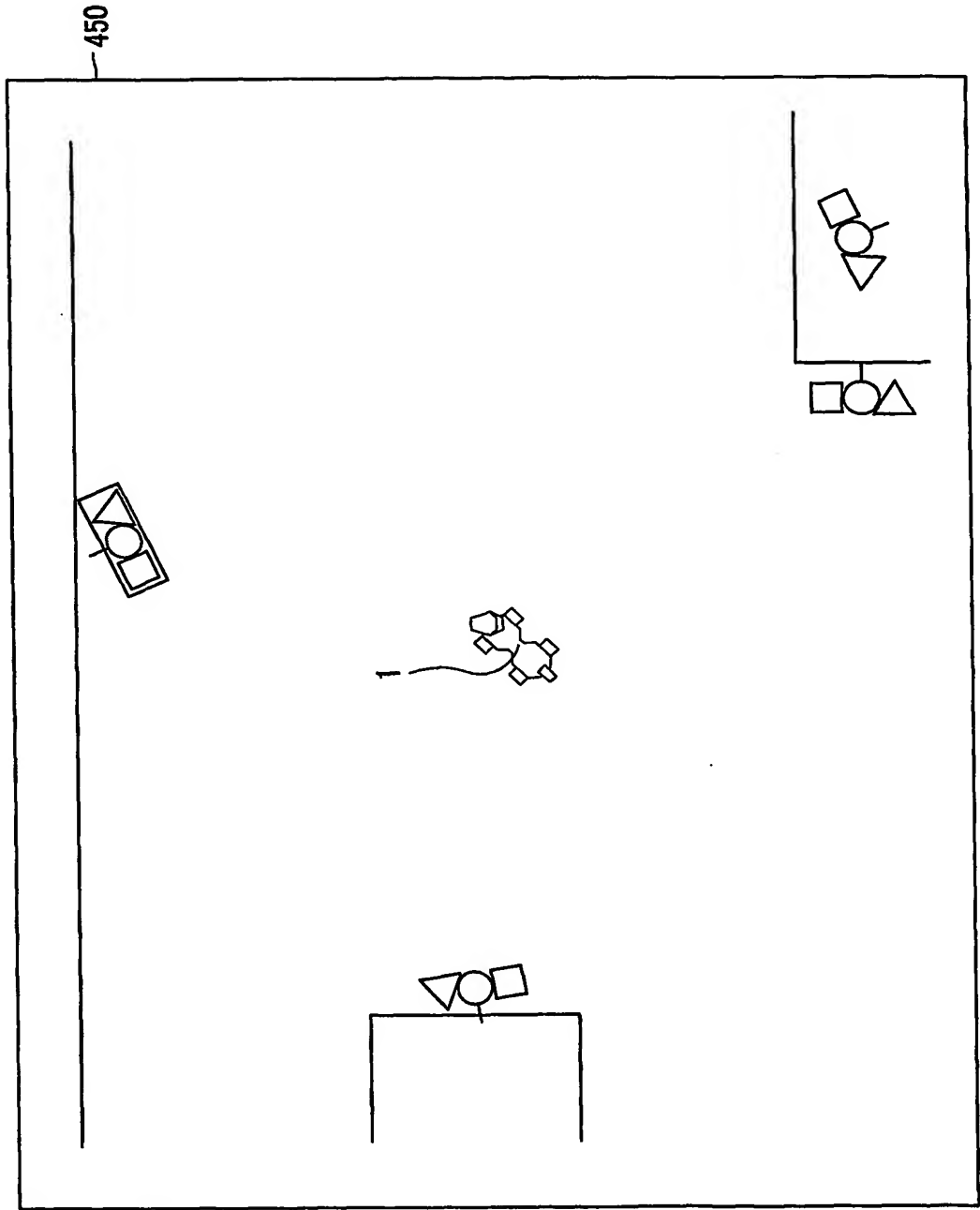


FIG. 16

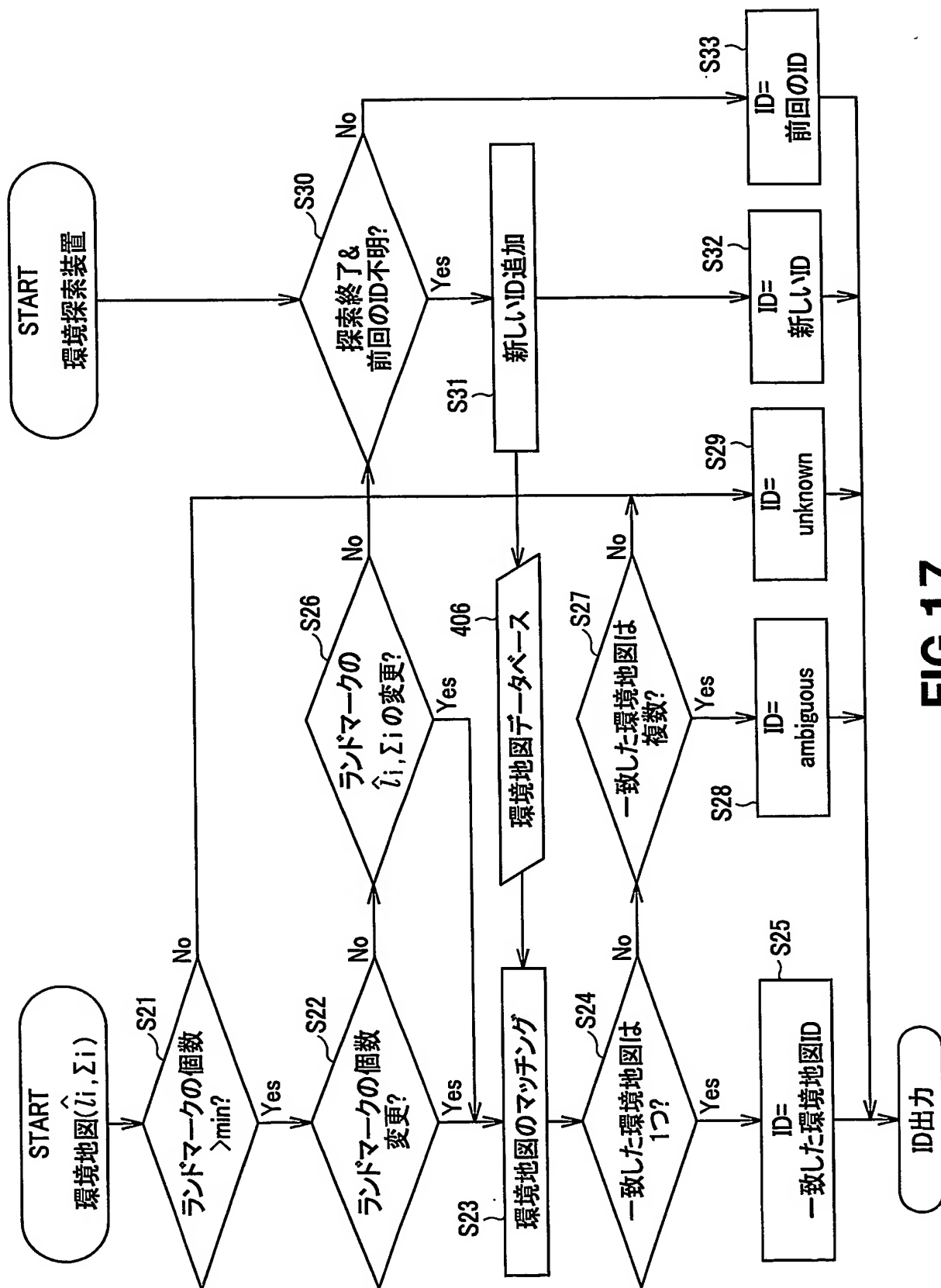


FIG.17

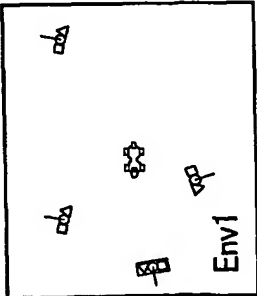
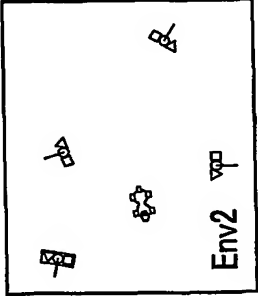
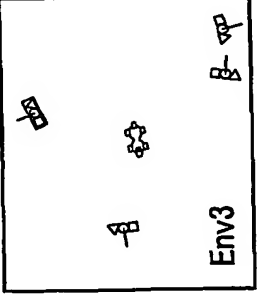
Environment	Environment Map	Environment ID	Environment Name
	$\text{Map}_1(\hat{I}, \Sigma)$	1	Taro's Room
	$\text{Map}_2(\hat{I}, \Sigma)$	2	Hanako's Room
	$\text{Map}_3(\hat{I}, \Sigma)$	3	W.C.

FIG.18

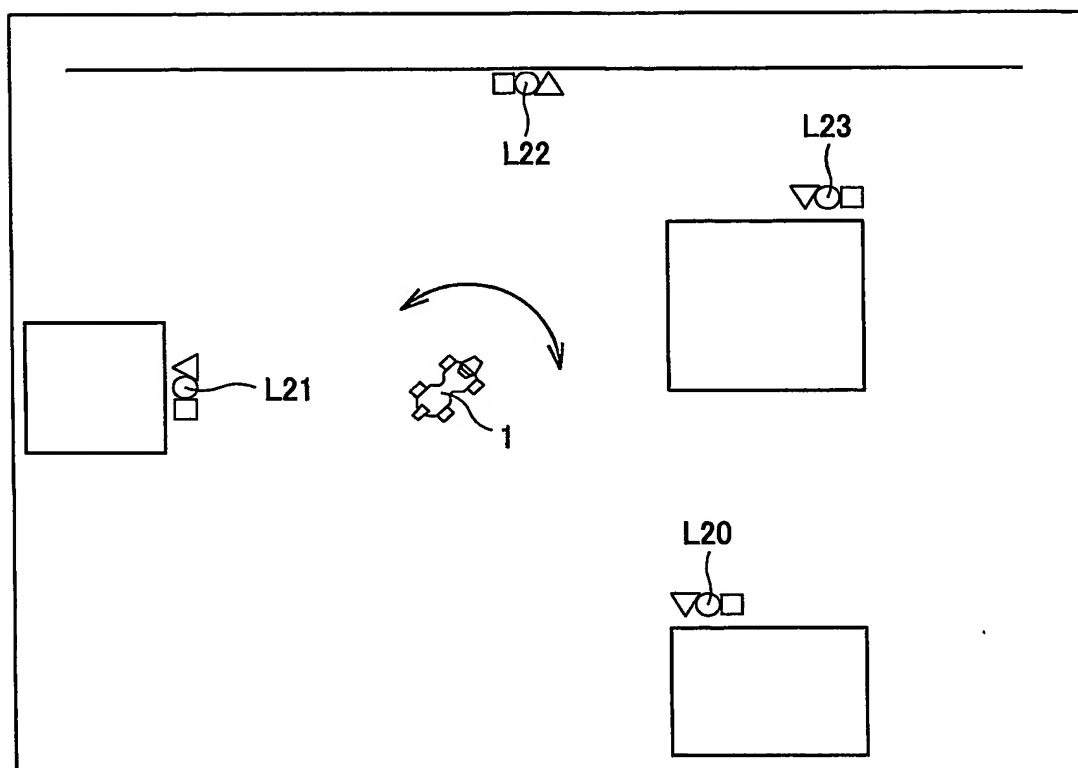


FIG.19

20/29

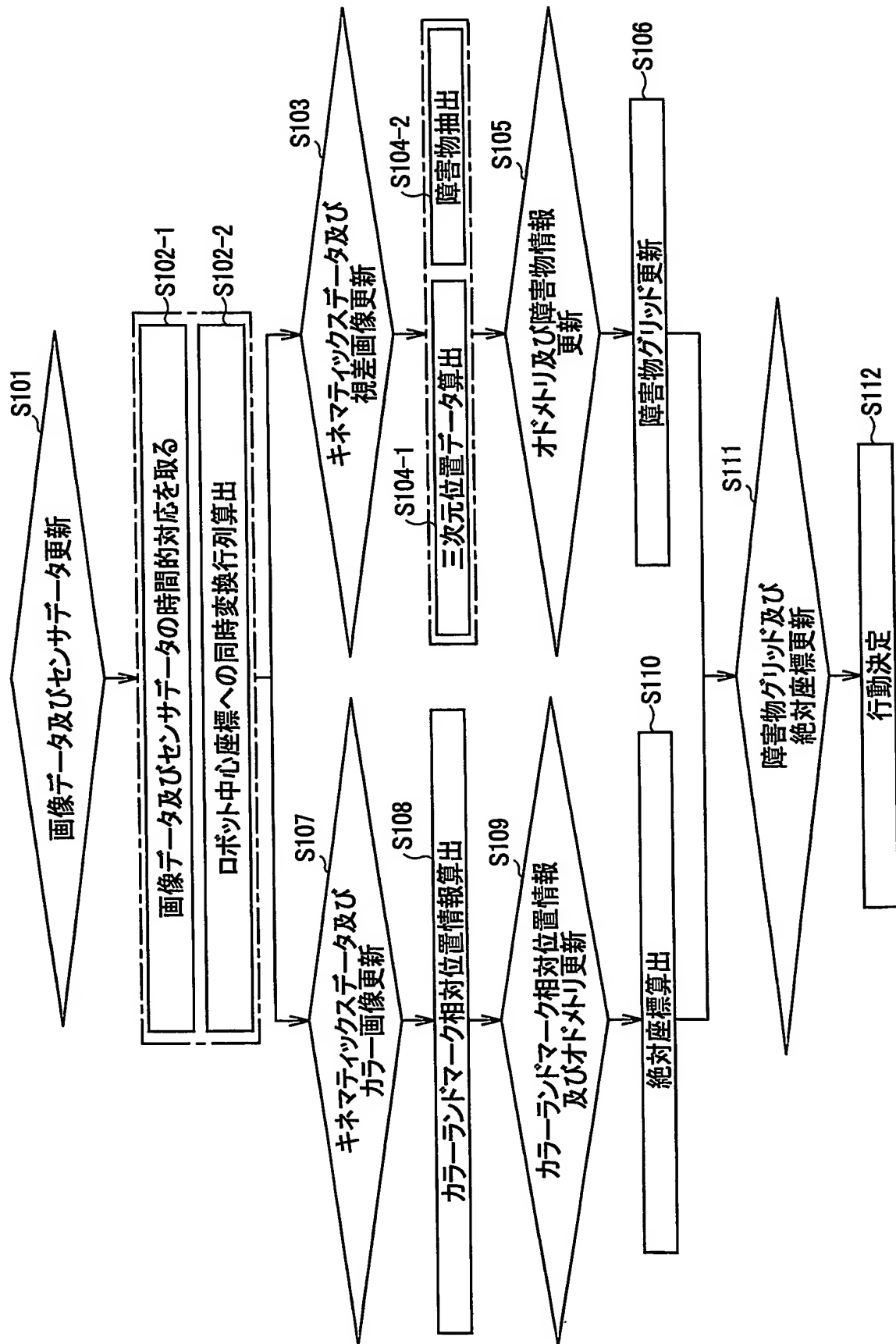


FIG. 20

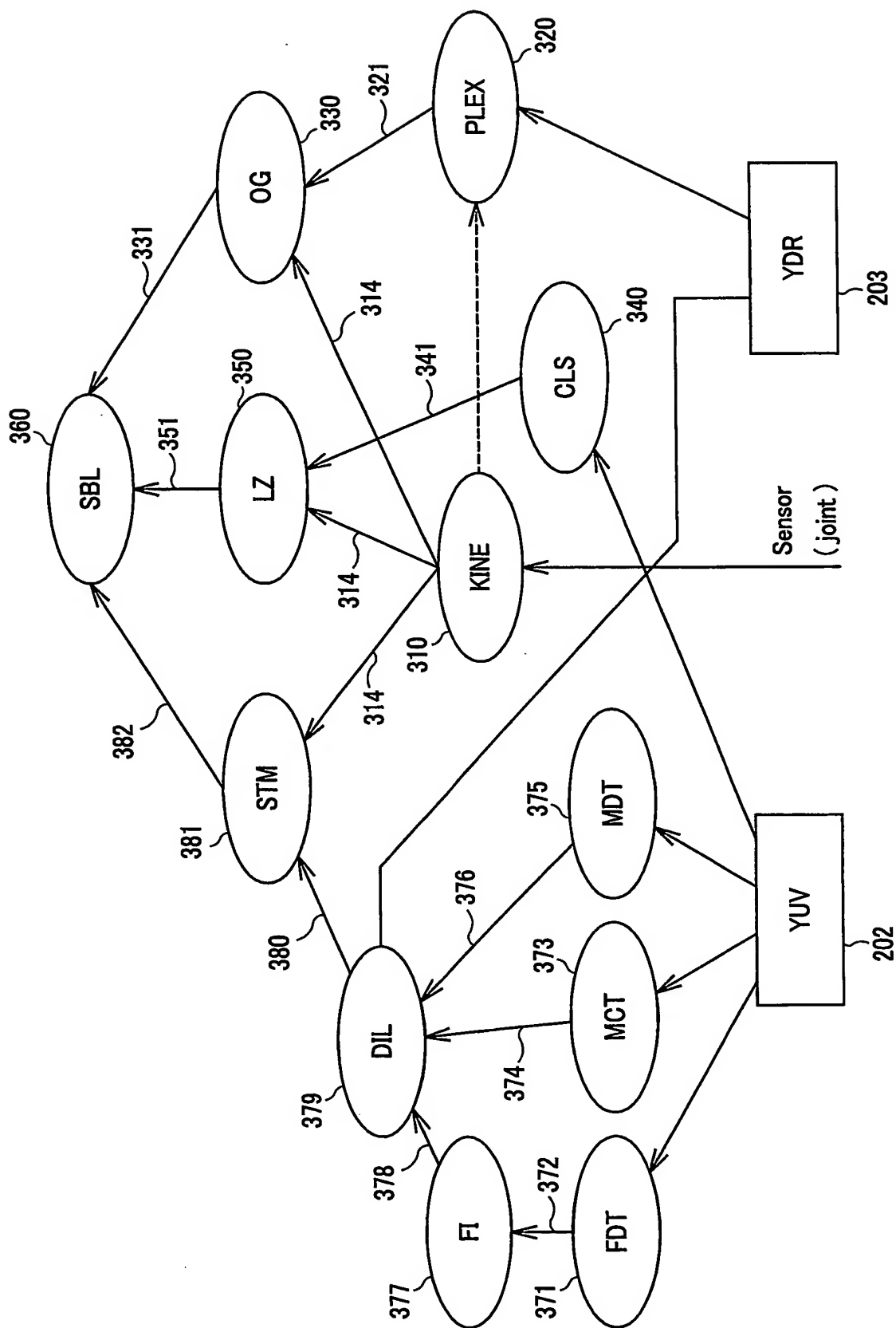
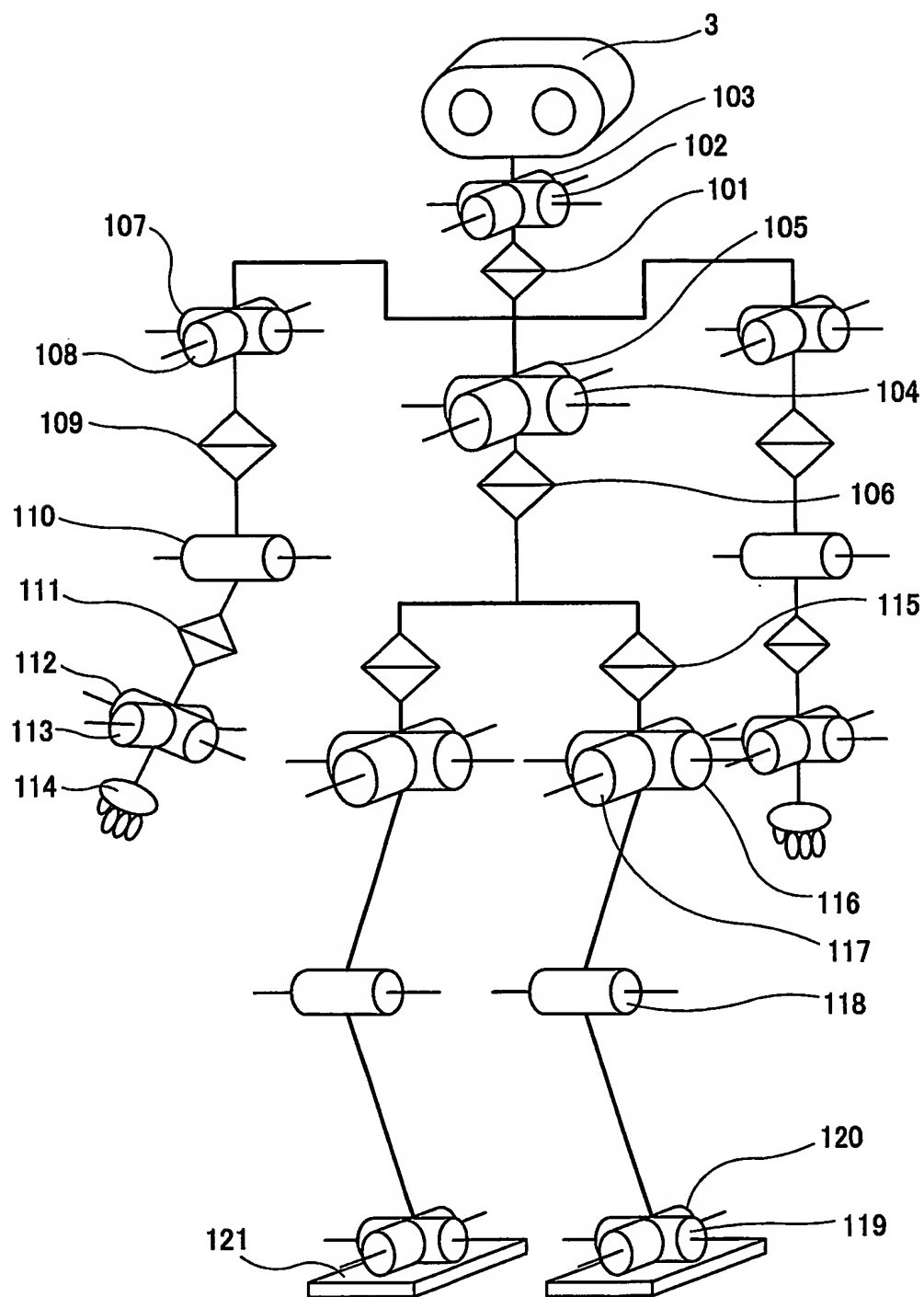


FIG.21

**FIG.22**

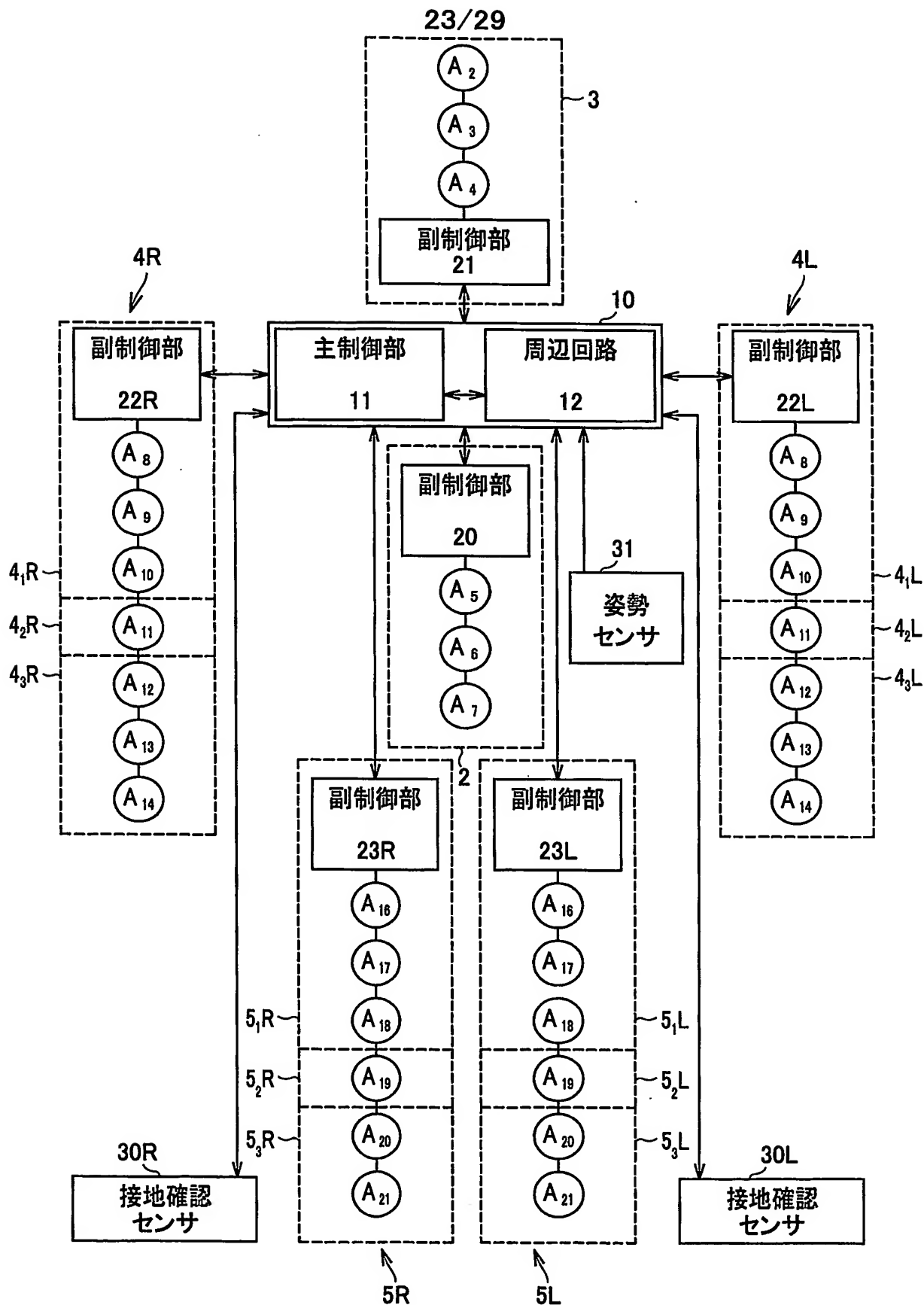


FIG.23

24/29

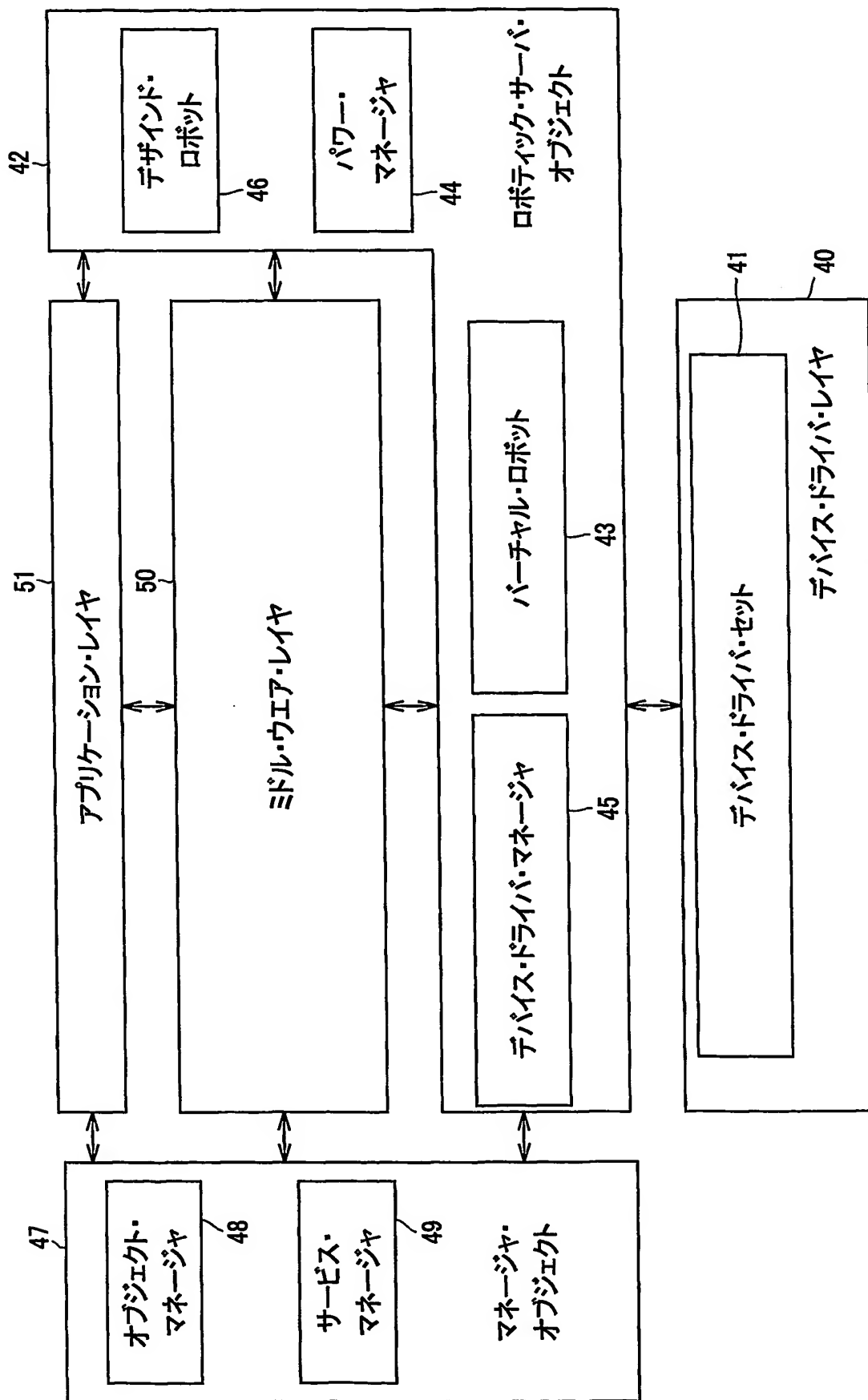


FIG.24

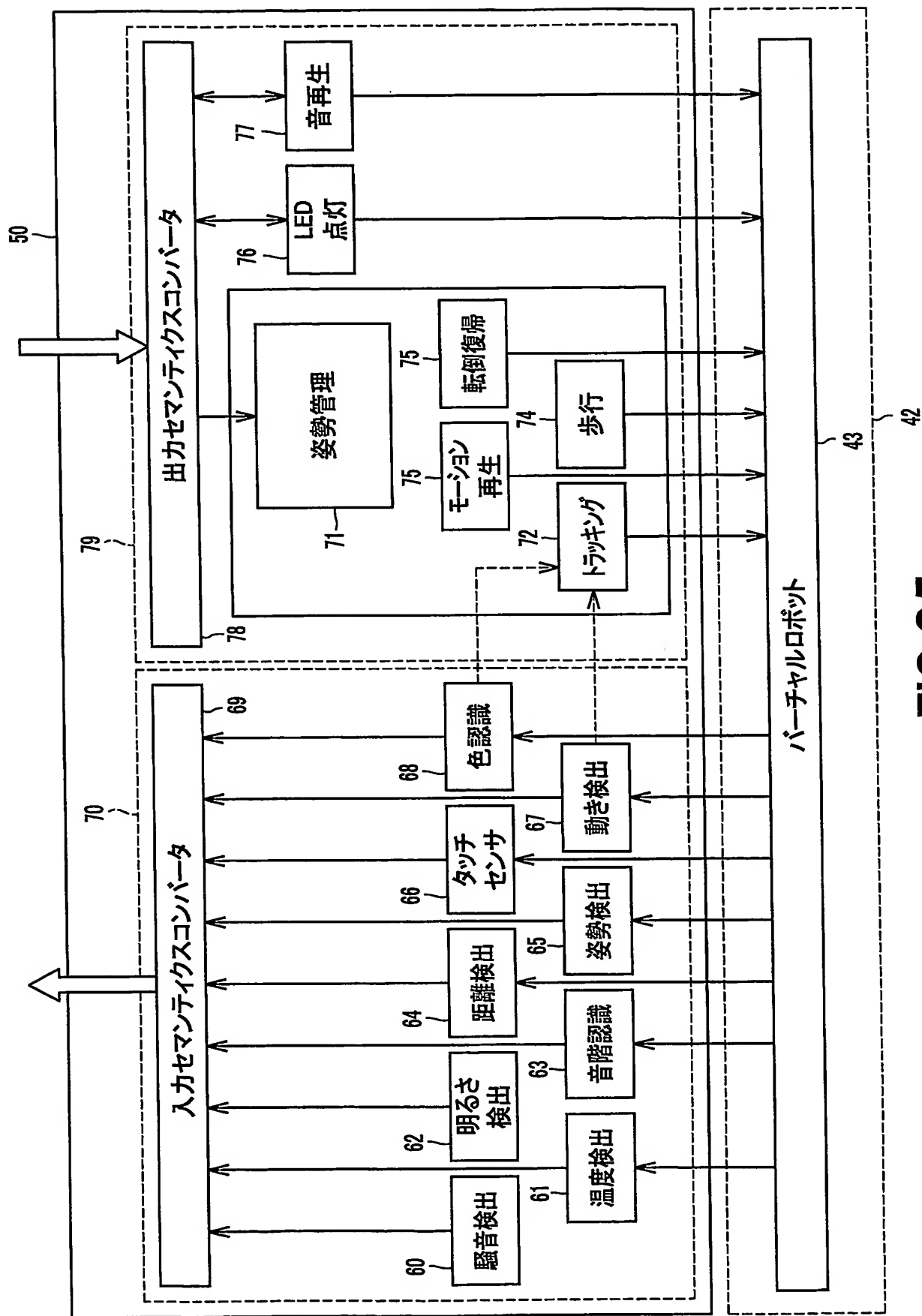


FIG.25

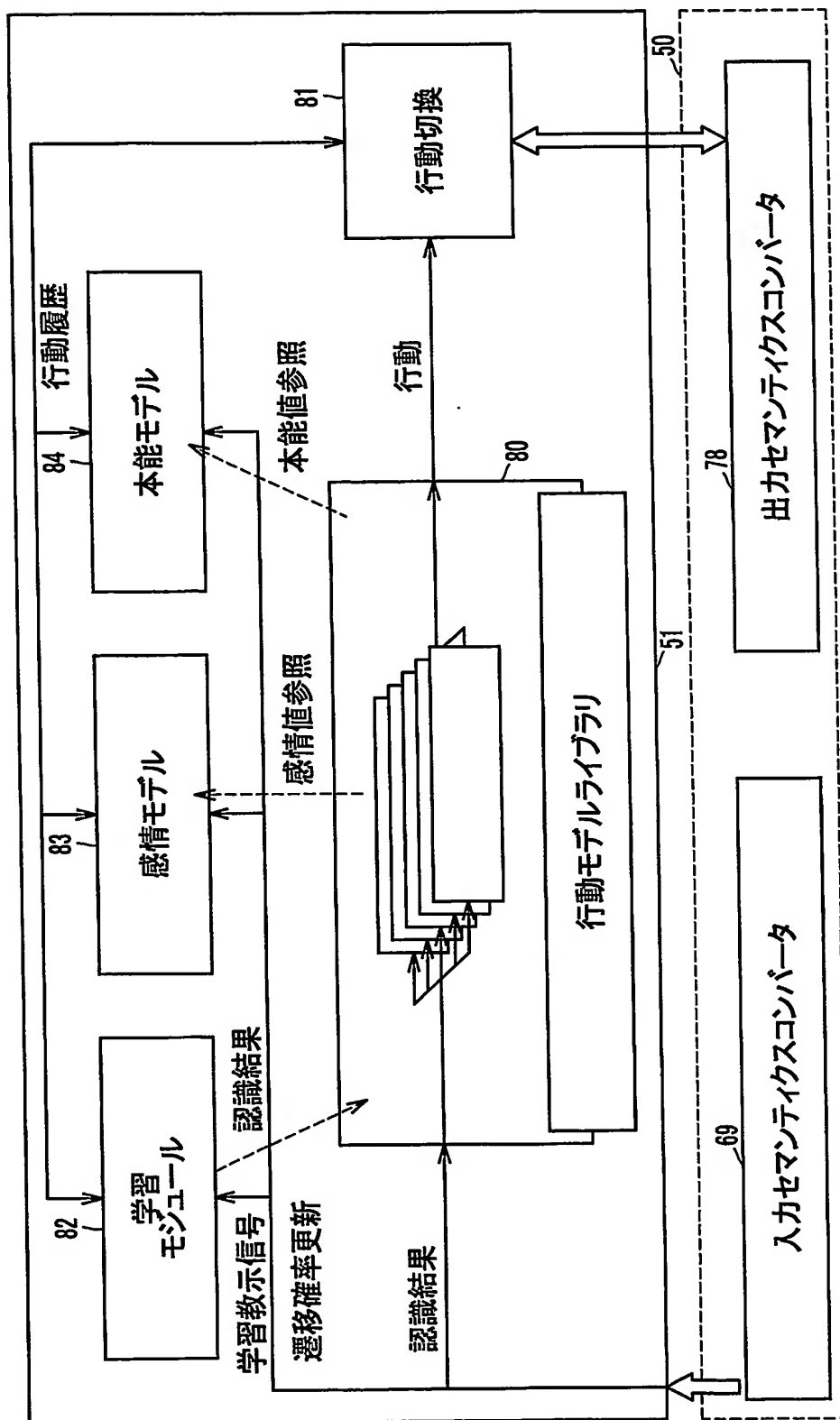


FIG.26

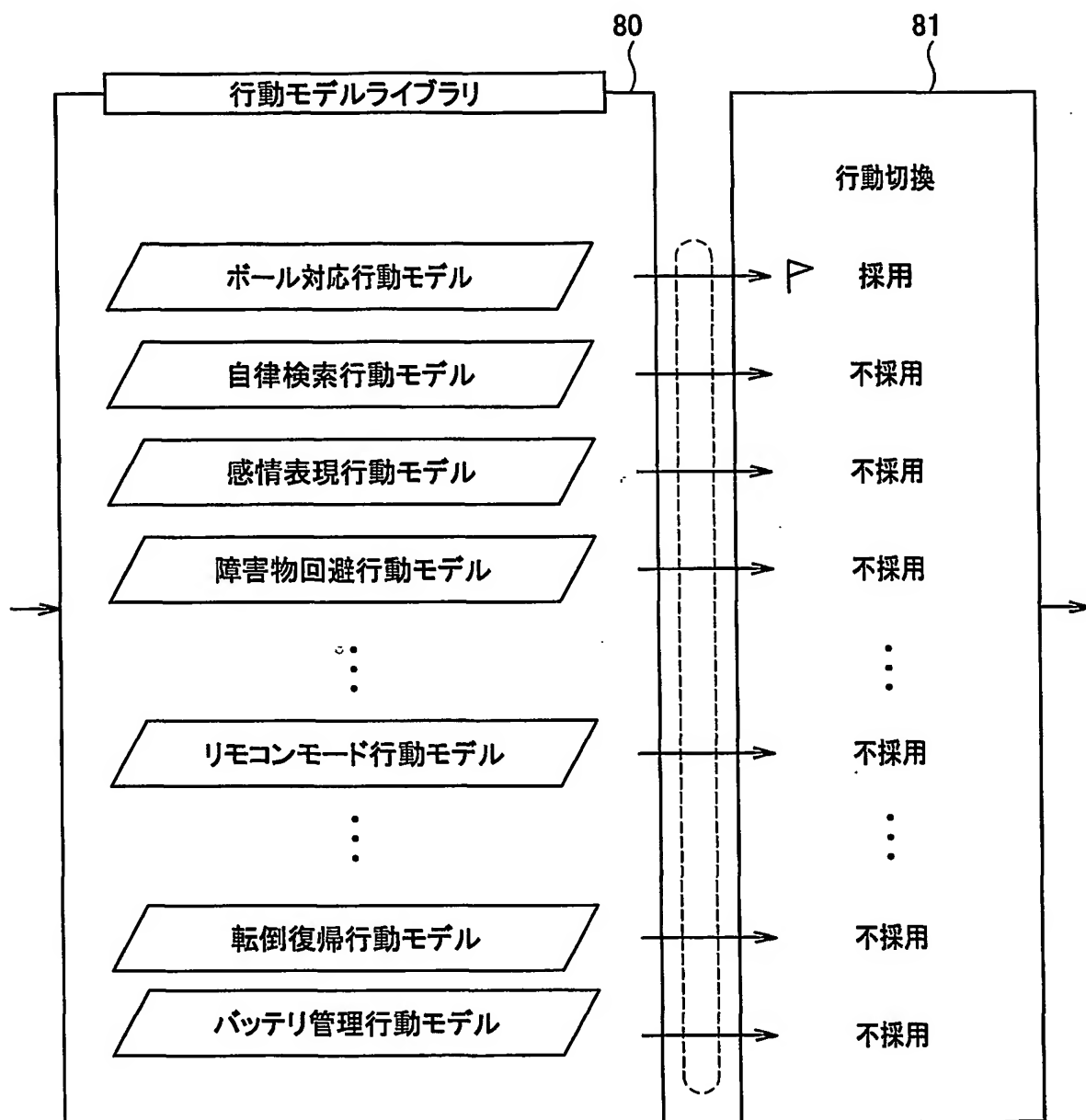


FIG.27

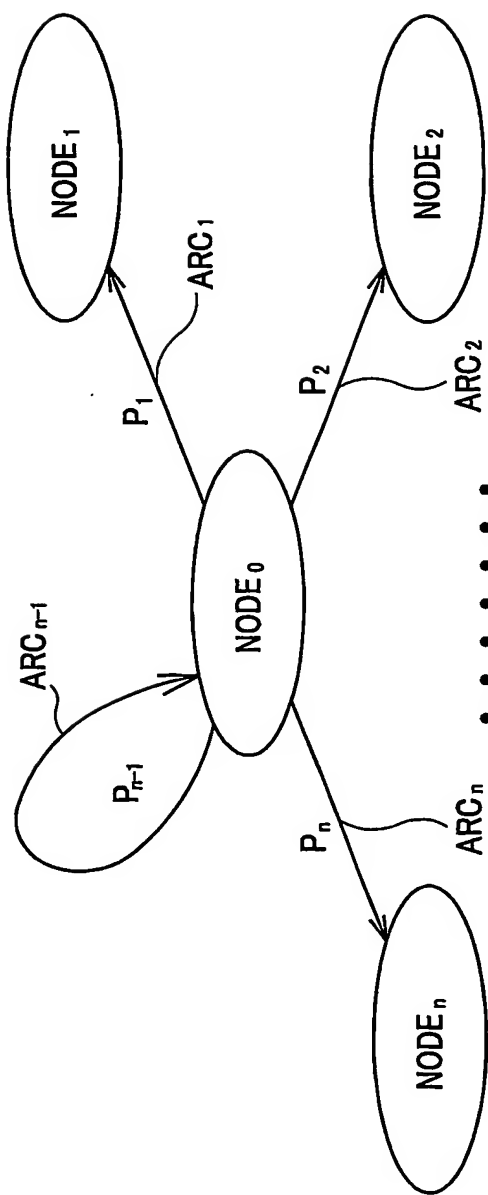


FIG.28

	入カイベント名	データ名	データの範囲	他のノードへの遷移確率			
				A	B	C	D
node 100							n
遷移先ノード				node 120	node 120	node 1000	node 600
出力行動				ACTION 1	ACTION 2	MOVE BACK	ACTION 4
1	BALL	SIZE	0.1000	30%			
2	PAT				40%		
3	HIT				20%		
4	MOTION					50%	
5	OBSTACLE	DISTANCE	0.100			100%	
6		JOY	50.100				
7		SURPRISE	50.100				
8		SADNESS	50.100				

FIG.29

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/10651

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ B25J5/00, B25J13/08, G05D1/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ B25J5/00, B25J9/10, B25J13/00, G05D1/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2000-99145 A (Meidensha Corp.), 07 April, 2000 (07.04.00), Claims; Fig. 1 (Family: none)	1-26
Y	US 5363305 A (NEC Research Institute, Inc.), 08 November, 1994 (08.11.94), Claims; all drawings & JP 4-227507 A	1-26
Y	JP 11-175151 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 02 July, 1999 (02.07.99), Par. Nos. [0002] to [0003] (Family: none)	1-26

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
02 December, 2003 (02.12.03)Date of mailing of the international search report
16 December, 2003 (16.12.03)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ B25J5/00, B25J13/08, G05D1/02

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ B25J5/00, B25J9/10, B25J13/00, G05D1/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2000-99145 A (株式会社明電舎), 2000. 04. 07, 特許請求の範囲, 第1図 (ファミリーなし)	1-26
Y	US 5363305 A (NEC Research Institute, Inc.), 199 4. 11. 08, 特許請求の範囲, 全図 & JP 4-227507 A	1-26
Y	JP 11-175151 A (富士電機株式会社), 1999. 07. 02, 段落【0002】-【0003】 (ファミリーなし)	1-26

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に関する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02. 12. 03

国際調査報告の発送日

16.12.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高田 元樹



3C

9821

電話番号 03-3581-1101 内線 3322